

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA
UNAN - MANAGUA
RECINTO UNIVERSITARIO RUBEN DARIO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA



Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

TEMA

Análisis morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores

Autora:

Br. Martínez González, Mayela Yaoska

Tutor: Francisco Espinoza Martínez

Managua 2012



CONTENIDO

Agradecimientos	I
Dedicatoria	II
Resumen	III
Contenido	V
Capítulo I	1
1. Introducción	1
1.1. Localización y Acceso	3
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos Específicos	5
1.3. Metodología	5
1.3.1. Trabajo de Gabinete	5
1.3.1.1. Recopilación de la Información	6
1.3.1.2. Generación y Elaboración de Mapa Base	6
1.3.1.3. Fotointerpretación	6
1.3.2. Etapa de Campo	7
1.3.3. Análisis e Interpretación de los Datos de Campo	8
1.3.3.1. Análisis Estructural	8
1.3.3.2. Análisis Morfoestructural	8
1.3.3.3. Elaboración de Secciones Delgadas	9
1.3.3.4. Elaboración del Informe Final	9
Capítulo II	10
2. Tectónica de América Central	10
Capítulo III	13
3. Geología Regional y Geomorfología de Nicaragua	13
3.1.1. Provincia de la Costa del Pacífico	13
3.1.2. Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica	13
3.1.3. Provincia Central	14
3.1.4. Provincia del Norte	14



3.1.5. Provincia de la Depresión o Graben de Nicaragua	15
Capítulo IV	17
4. Geología Local	17
4.1. Estratigrafía del área de Managua	17
4.1.1. Formación Las Sierras	18
4.1.2. Formación Managua	18
4.1.3. Formación Chiltepe	19
4.2. Geología del Graben de Managua	21
4.2.1. Formación Las sierras	21
4.2.1.1. Unidad Ignimbrita Andesita Basáltica	21
4.2.1.2. Unidad Tefra Unicit	24
4.2.1.3. Unidad Tefra Fontana	25
4.2.2. Formación Chiltepe	27
4.2.2.1. Unidad Tefra Apoyeque Inferior	27
4.2.2.2. Unidad Tefra Apoyeque Superior	28
4.2.2.3. Unidad Tefra Mateare	30
4.2.2.4. Unidad Tefra Los Cedros	32
4.2.3. Formación Managua	33
4.2.3.1. Unidad Pómez de Apoyo	33
4.2.3.2. Unidad Tefra San Antonio	35
4.2.3.3. Unidad Tefra Concepción	36
4.2.3.4. Unidad Triple Capa Masaya	38
4.2.3.5. Unidad Toba Masaya	39
4.2.4. Unidad Andesita	41
4.2.5. Unidad de Detritos	42
4.2.6. Unidad de Basalto	43
4.2.7. Unidad Aluvial	44
Capítulo V	47
5. Geomorfología del Graben de Managua	47
5.1. Unidad de Colinas Denudacional (D ₂)	48
5.2. Unidad de Origen Estructural (S)	50



5.2.1. Sub-unidad de Domo (S ₁₀)	50
5.2.2. Sub-unidad de Escarpe de Falla (S ₁₂)	51
5.3. Unidad de Origen Volcánico (V)	53
5.3.1. Sub-unidad de Maar (V _{1a})	53
5.3.2. Sub-unidad de Cráter de Explosión (V _{1b})	55
5.3.3. Sub-unidad de Conos de Escoria (V _{2a})	56
5.3.4. Subunidad de Anillo de Toba (V _{2b})	57
5.3.5. Sub-unidad de Flujos de Lava (V ₉)	58
5.3.6. Sub-unidad de Caldera (V ₁₄)	60
5.4. Unidad de Llanuras Fluvial (F ₃)	61
Capítulo VI	64
6.1. Geología Estructural del Graben de Managua	64
6.1.1. Deformación	64
6.1.2. Criterios de Cizalla	66
6.1.3. Indicadores Cinemáticos	69
6.1.4. Descripción de las Estructuras Geológicas que conforman el Graben de Managua	75
6.1.4.1. Bloque Tectónico Mateare	76
6.1.4.1.1. Falla Mateare	76
6.1.4.2. Bloque Tectónico Nejapa	77
6.1.4.2.1. Falla Nejapa	78
6.1.4.2.2. Falla Wheeloch	78
6.1.4.3. Bloque Tectónico Managua	79
6.1.4.3.1. Falla Asososca - Acahualinca	80
6.1.4.3.2. Falla San Judas	80
6.1.4.3.3. Falla Estadio	81
6.1.4.3.4. Falla Los Bancos	82
6.1.4.3.5. Falla Tiscapa	82
6.1.4.3.6. Falla Chico Pelón	83
6.1.4.3.7. Falla Zogaib	84
6.1.4.3.8. Falla Escuela	84
6.1.4.3.9. Falla Centro América	85
6.1.4.3.10. Falla Las Colinas	85



6.1.4.3.11. Falla Mirador	86
6.1.4.3.12. Falla Santo Domingo	86
6.1.4.3.13. Falla Las Nubes	87
6.1.4.4. Semi-Graben Aeropuerto	88
6.1.4.4.1. Falla Aeropuerto	88
6.1.4.4.2. Falla Ramal Aeropuerto	89
6.1.4.4.3. Falla Sabana Grande – Veracruz	90
6.1.4.4.4. Falla Ticuantepe	90
6.1.4.5. Bloque Tectónico Cofradía	91
6.1.4.5.1. Falla Cofradía	91
6.1.4.5.2. Falla La Ceiba	92
6.1.4.5.3. Falla La Barranca - Coyotepe	93
6.2. Morfología del Graben de Managua	95
6.2.1. Mapa Topográfico	95
6.2.2. Mapa Altimétrico	98
6.2.3. Mapa de Pendientes	100
6.2.4. Mapa de Modelo Sombreado	102
6.3. Morfoestructuras del Graben de Managua	105
6.3.1. Nivel Jerárquico I	105
6.3.2. Nivel Jerárquico II	107
6.3.3. Nivel Jerárquico III	107
6.3.4. Nivel Jerárquico IV	107
6.3.5. Nivel Jerárquico V	108
6.3.6. Nivel Jerárquico VI	109
Capítulo VII	111
7. Discusión	111
Capítulo VIII	114
8.1. Conclusiones	114
8.2. Recomendaciones	116
Capítulo IX	117
8.1. Bibliografía	117



INDICE DE FIGURAS

Figura.1. Mapa de Localización del área de estudio	4
Figura.2. Mapa Tectónico de América Central	11
Figura.3. Mapa Geológico de Nicaragua	16
Figura.4. Columna Estratigráfica del área de Managua	20
Figura.5. Mapa Geológico del Graben de Managua	46
Figura.6. Mapa Geomorfológico del Graben de Managua	63
Figura.7. Graficas de esfuerzos deformación y los tipos de comportamiento de las rocas	66
Figura.8. Distribución de diferentes tipos de rocas en zonas de fallas con respecto a la profundidad en la corteza terrestres	66
Figura.9. Comparación geométrica de los sistemas de cizalla pura y simple	69
Figura.10. Fracturas secundarias asociadas a fallas mostrando las relaciones con el sentido de cizalla	73
Figura.11. Diagrama en el que se muestran dos tipos de zonas de relevo	75
Figura.12. Mapa Estructural del Graben de Managua	94
Figura.13. Mapa Topográfico del Graben de Managua	97
Figura.14. Mapa Hipsométrico del Graben de Managua	99
Figura.15. Mapa de Pendientes del Graben de Managua	101
Figura.16. Mapa de Modelo Sombreado del Graben de Managua	104
Figura.17. Mapa Morfoestructural del Graben de Managua	110



INDICE DE FOTOS

Foto.1. Afloramiento de ignimbritas en Ticomo	23
Foto.2. Vista de Ignimbritas en sección delgada	24
Foto.3. Afloramiento de Tefra Fontana	26
Foto.4. Afloramiento de Tefra Apoyeque Inferior	28
Foto.5. Afloramiento de Tefra Apoyeque Superior	29
Foto.6. Afloramiento de Tefra Mateare	31
Foto.7. Afloramiento de Tefra Los Cedros	33
Foto.8. Afloramiento de Tefra Apoyo Superior	34
Foto.9. Afloramiento de Tefra San Antonio	36
Foto.10. Afloramiento de Tefra La Concepción	37
Foto.11. Afloramiento de Triple Capa Masaya	39
Foto.12. Afloramiento de Toba Masaya	40
Foto.13. Unidad Andesita	42
Foto.14. Unidad Basalto	44
Foto.15. Unidad de Colinas Denudacionales (D ₂)	49
Foto.16. Sub-unidad de Domo (S ₁₀)	51
Foto.17. Sub-unidad de Escarpe de Falla (S ₁₂)	52
Foto.18. Sub-unidad de Maar (V _{1a})	54
Foto.19. Sub-unidad de Cráter de Explosión (V _{1b})	55
Foto.20. Sub-unidad de Conos de Escoria (V _{2a})	57
Foto.21. Sub-unidad de Flujo de Lava (V ₉)	59
Foto.22. Sub-unidad de Caldera (V ₁₄)	61



Foto.23. Unidad de Llanuras Aluviales (F ₃)	62
Foto.24. Brecha de Falla	68
Foto.25. Sistema de Fallas conjugadas	71
Foto.26. Falla Lútrica	72
Foto.27. Sigmoides en diferentes posiciones	74

INDICE DE TABLAS

Tabla.1. Coordenadas UTM del área de estudio	3
Tabla.2. Niveles Jerárquicos de la clasificación de las morfoestructuras	106
Tabla.3. Rangos altitudinales de las diferentes categorías y subcategorías del relieve a nivel global	109



DEDICATORIA

A mi querida madre **Esmelda Sofía González**, que ha sido la persona que me brindado su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

A mi pequeña hija **Melissa Sofía Sánchez Martínez**, que es la luz que ilumina cada uno de mis días con su dulce sonrisa.



AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por haberme brindado la vida y la oportunidad de poder llegar a esta etapa tan importante de mi vida.

Al **Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO)** de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) y su director **Dionisio Rodríguez** por darme la oportunidad de realizar este trabajo monográfico.

A mi tutor **Francisco Espinoza M**, por darme sus valiosos aportes y comentarios durante la realización de este trabajo.

Al señor **Francisco Vásquez**, por poner todo su empeño durante la realización de las secciones delgadas utilizadas en este trabajo.

A los profesores **Luis Altamirano** y **Mireya Pérez**, por brindarme toda su ayuda en la descripción de las secciones delgadas.

A mi buen amigo **Delvin Martínez**, por toda la ayuda y comprensión brindada durante las últimas etapas de realización de este trabajo.

A mi buena amiga **Suyen López**, por su toda su ayuda brindada durante la edición e impresión de los mapas.

Al señor **Santiago Noguera**, por su ayuda durante la etapa de campo de este trabajo.

A todas las personas que una u otra forman han hecho posible la realización de este trabajo.



RESUMEN

En este estudio se presentan los resultados del análisis morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores, el cual se llevó a cabo en base a la interpretación de fotografías aéreas, mapa topográfico, mapa altimétrico, mapa de pendientes y mapa de modelo sombreado. Después se procedió al trabajo de campo en el cual se realizaron mediciones estructurales, mapeo de estructuras geológicas y se identificaron los indicadores cinemáticos de las estructuras.

Basados en el análisis estructural de los diferentes indicadores cinemáticos y arreglos geométricos, encontrados en el área de estudio se determinó que las fallas geológicas que se encuentran en el área de Managua, poseen una geometría en échelon bien definida con una componente lateral y que además presentan zonas de relevo de longitudes variable. La dinámica de algunas de estas fallas se encuentra representada por movimientos verticales y otras por movimientos laterales; pero en ocasiones algunas de estas presentan una combinación de los dos movimientos por lo que se les clasificó en este trabajo como transtensionales.

Morfoestructuralmente el Graben de Managua se encuentra constituido por un semi-graben denominado con el nombre de Aeropuerto y cuatro bloques tectónicos denominados como: Mateares, Nejapa, Managua y Cofradía; cada uno con características particulares. Todas estas morfoestructuras se encuentran dispuestas en forma de escalones neotectónicos que con respecto al plano horizontal se observan basculados, inclinados y escalonados, en diferentes direcciones según su ubicación dentro del área de estudio.

La geomorfología del área de estudio se encuentra representada por un relieve que varía de escapado a casi plano y que se caracteriza por la presencia de diversas estructuras volcánicas alineadas, relativamente jóvenes como: calderas, conos de escoria, cráteres de explosión, anillos de tobas, domos y maares.



CAPITULO I

1. Introducción

El Graben de Managua se localiza en la región del Pacífico del país, dentro de la Depresión o Graben de Nicaragua, que se extiende desde la frontera con Costa Rica al sureste, hasta el Golfo de Fonseca al noroeste y tiene aproximadamente 30 a 45 Km de ancho. Estructuralmente el área de estudio forma parte de la Cadena Volcánica Cuaternaria Nicaragüense, la cual constituye uno de los principales rasgos de la actividad volcánica de América Central. Esta Cadena Volcánica se encuentra dividida en dos segmentos denominados NO y SE; es en esta zona de segmentación donde se ubica el Graben de Managua; el cual es una estructura orientada N-S, de tipo extensional y tectónicamente activa, que disloca la Cadena Volcánica Nicaragüense en sentido derecho por una distancia de ~13 Km. Frischbutter, A. (2002). Este Graben tiene una longitud de 36 Km en dirección N-S y un ancho de 15 Km en dirección E-O y se encuentra afectado por un sin número de fallas geológicas activas. LaFemina, P et al. (2002)

El área de Managua ha sido estudiada por diferentes autores los cuales han contribuido al conocimiento geológico, realizando trabajos en los que se incluyen fallamiento superficial, vulcanología, estratigrafía, sismología y petrografía, entre los que destacan: Woodward-Clyde Associates (1975), realiza una descripción general de las principales fallas activas del área de Managua. Bice D. (1980), denominó como secuencia Managua a siete unidades de material de caída, las cuales son de composición basáltica y riodacítica, producidas por erupciones explosivas de los volcanes cercanos de Masaya, Apoyo y Apoyeque ocurridas en los últimos 35,000 años. LaFemina et al. (2002), explican la orientación preferencial NNE-SSO con desplazamiento lateral izquierdo de las fallas que se encuentran dentro de la cadena volcánica, como acomodación de los bloques



tectónicos. Kutterolf, S. (2007), de acuerdo a correlaciones estratigráficas propone una nueva columna estratigráfica para el área de Managua. Espinoza F. (2007), determinó el lineamiento de 25 estructuras volcánicas monogenética y un volcán compuesto, emplazados en la falla Nejapa a los que son atribuidos la estratigrafía del grupo Managua; estructuralmente él divide el área en tres bloques denominados: Mateare, Nejapa y Managua, también demostró en base al análisis de mecanismo focales, que la zona está expuesta a un régimen de extensión Este-Oeste y compresión Norte-Sur. El trabajo más reciente es el de Avellán D. (2009), en el cual definió 19 estructuras volcánicas en la porción sur-central de la falla Nejapa y del campo volcánico Nejapa, en un área aproximada de 4.5 Km² e identificó 23 erupciones durante los últimos ~30,000 años, de las cuales 16 se originaron en el segmento sur de la falla Nejapa y parte del segmento central de la misma.

En base a lo anterior se puede decir que hasta el momento no se cuenta con un estudio que demuestre la dinámica, cinemática y la geometría de las estructuras presentes dentro del área, factores indispensables para determinar la clasificación y tipo de movimiento de las fallas de Managua. Por lo tanto se plantea contribuir con este trabajo al conocimiento geológico estructural del área en base al análisis de los diferentes patrones de fallamiento y de otras estructuras geológicas, tales como conos de escoria, anillos de toba, maar y cráter de explosión.

En este estudio se presentan los resultados del análisis morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores, el cual se llevó a cabo en base a la interpretación de fotografías aéreas, mapa topográfico, mapa altimétrico, mapa de pendientes y mapa de modelo sombreado. Después se procedió al trabajo de campo en el cual se realizaron mediciones estructurales, mapeo de estructuras geológicas y se identificaron los principales indicadores cinemáticos de las estructuras.



1.1. Localización y Acceso

El área de estudio se localiza en la región del Pacífico del país, dentro de la depresión Nicaragüense, comprende las hojas topográficas de Managua (2952-III), Mateare (5952-IV), la porción oeste de las hojas de Nindiri (2952-II), Tipitapa (2952-I) y la parte norte de las hojas topográficas de San Rafael del Sur (2951-IV) y Masaya (2951-I), todas estas a escala 1:50.000, editadas por El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 1998), cubriendo un área total de 1,484 Km², dentro de las coordenadas que se especifican en la tabla Tabla.1.

Coordenadas del área de estudio	
N	E
1325900	557600
1325900	597900
1359100	597900
1359100	557600

Tabla.1. Coordenadas UTM del área de estudio

A la ciudad de Managua se accesa desde cualquier punto del país a través de 4 principales vías de acceso:

1. Carretera Panamericana Sur
2. Carretera León-Managua
3. Carretera Panamericana Norte
4. Carretera El Crucero-Managua

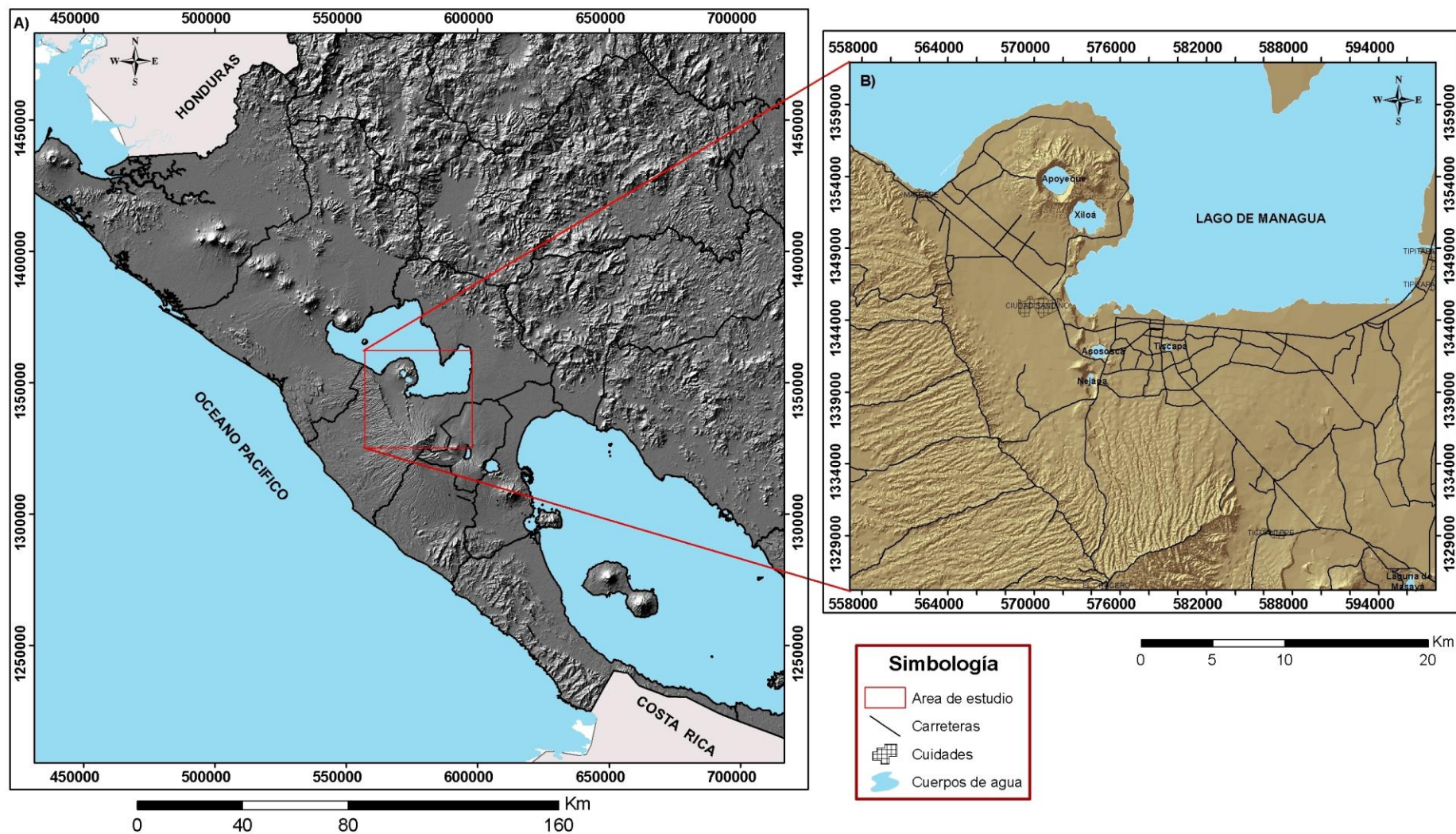


Figura.1. A) Modelo de relieve sombreado de Nicaragua, tomado de la base de datos SIG del Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales (INETER); el cual muestra el área de estudio, delimitada por el recuadro rojo.

B) Modelo de relieve sombreado a detalle del área de estudio, con las principales ciudades y carreteras.



1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Realizar un análisis e interpretación morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores a escala 1:50,000, tomando en cuenta los parámetros geoestructurales que existen en el área.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de la geometría y dinámica de las fallas geológicas del Graben de Managua.
- Elaborar un mapa morfoestructural, en el cual se definan las principales morfoestructuras presentes en el área de estudio a escala 1:50.000.
- Elaborar un mapa geoestructural a escala 1:50.000, que ayude a la actualización del mapa de fallas de Managua.
- Realizar un perfil perpendicular a las morfoestructuras geológicas presentes en el Graben de Managua.

1.3. Metodología

La metodología que se empleó para el desarrollo de este trabajo se resume en tres fases principales, las cuales se describen a continuación:

1.3.1. Trabajo de Gabinete

Durante esta fase se hizo la recopilación y análisis de toda la información posible, que existe en el área de estudio. Así mismo se prepararon las condiciones para la realización de la etapa de campo. El trabajo de gabinete se dividió en las siguientes etapas:



1.3.1.1 . Recopilación de la Información

- Recopilación de la mayor cantidad de documentos previamente elaborados, en el área de estudio tales como: tesis, artículos, estudios u otros trabajos. En total se lograron recopilar 6 tesis, 15 artículos y 22 estudios.
- Recopilación del mapa geológico y los mapas topográficos del área de Managua, Nindirí, Masaya, Tipitapa, Mateare y San Rafael del Sur. En total se recopilaron 7 mapas.
- Recopilación de fotografías aéreas del área de estudio, año 1996 a escala 1:40.000, editadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).

1.3.1.2. Generación y Elaboración de Mapas Base

En esta etapa se realizó con la ayuda de Arc Map (versión 9.3) la digitalización de las curvas de nivel de los mapas topográficos escala 1:50.000 del área de estudio, para la elaboración de los mapas digitales de pendientes, altimétrico y modelo sombreado. El análisis de estos mapas facilitó la identificación e interpretación de las estructuras geológicas que se encuentran afectando el área.

1.3.1.3. Fotointerpretación

Esta técnica se define como el acto de examinar imágenes fotográficas con el propósito de identificar objetos y apreciar su significado. La interpretación fotogeológica aprovecha la perspectiva aérea que se obtiene en las fotografías y subraya la importancia de los elementos morfológicos y las anomalías estructurales en la búsqueda de información, basándose en los diversos criterios técnicos y científicos tanto de orden geológico como de la ingeniería. Esta técnica es útil para identificar los rasgos geológicos, geomorfológicos, estructurales, vegetación, drenaje, erosión, etc.



Se realizó la fotointerpretación a detalle de las fotografías aéreas de las ciudades de Managua (Línea de vuelo 24, fotos números de 644 a 654; Línea de vuelo 25, fotos números de 099 a 112; Línea de 26, fotos números de 729 a 749); Mateare (Línea de vuelo 27, fotos números 219 a 235; Línea de vuelo 28, fotos números 1142 a 1149; Línea de vuelo 29, fotos números 778 a 786); Nindirí (Línea de vuelo 24, fotos números 654 a 660, Línea de vuelo 25, fotos números 110 a 117, Línea de vuelo 26, fotos números 113 a 119); Masaya (Línea de vuelo 23, fotos números 599 a 605), Tipitapa (Línea de vuelo 27, fotos números 251 a 259) y San Rafael del Sur (Línea de vuelo 23, fotos números 519 a 597); todas a escala 1:40,000 editadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 1996), con lo que se logró identificar diferentes rasgos geológicos, estructurales, geomorfológicos y de drenaje; todo esto se hizo tomando en cuenta las doce reglas de la fotointerpretación, que son: Tono fotográfico, Relieve terrestre, Textura de la fotografía, Posición o gradiente, Forma y tamaño de los rasgos u objetos, Discordancias, Sombra, Alineaciones, Objetos asociados, Erosión, Formas topográficas y Drenaje.

1.3.2. Etapa de Campo

En esta etapa se realizaron salidas al campo durante tres meses (Mayo, Junio y Julio del 2011), con el propósito de verificar la presencia de las estructuras propuestas en la etapa de gabinete, también se comprobaron los contactos geológicos marcados previamente y se recolectaron muestras de rocas, con el fin de realizar secciones delgadas para un mejor análisis de estas.

Se identificaron y cartografiaron fallas y fracturas tomando ancho, longitud de falla y tipo de roca o depósito que afectan. Para esto se consideró el criterio estructural de identificar como mínimo cinco indicadores cinemáticos por zona de falla. Estos criterios son:



presencia de sigmoides, brecha de falla ó harina de falla, fracturas en R y P, entre otros indicadores, los cuales proporcionaron la cinemática del área afectada, dando a conocer el tipo de falla principal y las fallas asociadas.

1.3.3. Análisis e Interpretación de los datos de Campo

Una vez obtenidos los datos de campo se realizó el procesamiento de estos, para su análisis y elaboración del informe final. La fase de análisis e interpretación se dividió en las siguientes etapas:

1.3.3.1. Análisis Estructural

En esta etapa se analizaron e interpretaron todas las características estructurales e indicadores cinemáticos, representativos de los afloramientos encontrados en el Graben de Managua; con lo que se logró obtener un mapa estructural y un perfil estructural del área de estudio.

1.3.3.2. Análisis Morfoestructural

Para realizar este análisis se llevó a cabo la implementación de los siguientes métodos:

- Interpretación del mapa de modelo sombreado, hipsométrico y topográfico, a escala 1:50,000 del Graben de Managua; elaborados a partir de las bases cartográficas del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 1998).
- Interpretación estructuro-geomorfológica de las fotografías aéreas del área de estudio, las cuales ya fueron especificadas en la etapa de fotointerpretación; escala 1:40,000 editadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 1996), para delimitar las estructuras geológicas con expresión geomorfológica.
- Análisis de los morfoelementos lineales del relieve, con el propósito de complementar el inventario de fallas geológicas reflejadas en el relieve y de los morfolineamientos.



- Análisis del espectro de niveles geomorfológicos y sus deformaciones neotectónicas para establecer los pisos altitudinales de las categorías básicas del relieve (montañas, lomeríos y llanuras).
- Comparación de los datos geomorfológicos con la constitución y estructura geológica del área de estudio.

1.3.3.3. Elaboración de Secciones Delgadas

De las muestras de rocas recolectadas durante la etapa de campo se hizo la selección de las más representativas y mejor preservada, para realizar las respectivas secciones delgadas; en total se hicieron siete secciones delgadas, las cuales posteriormente fueron descritas microscópicamente con ayuda del microscopio Carl Zeis Axiolab y se tomaron microfotografías de cada una de estas con el propósito de representar de manera precisa lo observado en la sección delgada.

1.3.3.4. Elaboración del Informe Final

Todos los datos obtenidos a través de las etapas antes descritas fueron procesados y modelados con ayuda de los programas computarizados ArcGis versión 9.3 y CorelDraw versión 12; lo que permitió obtener el mapa geoestructural y morfoestructural del Graben de Managua a escala 1:50,000. En base a la interpretación de estos mapas se elaboró el documento final.



CAPITULO II

2. Tectónica de América Central

América Central se sitúa en el margen occidental de la placa Caribe. Dengo, G. Case, J. (1990), sus límites son: Al norte la Placa Norte Americana a través del sistema de fallas Motagua-Polochic - Jocatán y la Fosa Caimán; al este por la falla de Puerto Rico y la zona de subducción de las Antillas Menores; al sur por la Placa Suramericana y al oeste por la fosa Mesoamericana. **(Fig.2)**. El desarrollo de la placa Caribe se debió a la posición relativa de Norte y Sur América en el Triásico-Jurásico Tardío. Burllard, E et al. (1965). En la mayoría de las reconstrucciones del Pangea, Norte y Sur América se traslapaban en el área que actualmente ocupa la placa del Caribe. Burllard et al. (1965); Van der voo et al. (1976); Pindell, J. (1985), donde la placa del Caribe es tenida como alóctona de esas placas vecinas. Esto significa que Norte y Sur América no son márgenes de ruptura de la actual cuenca del Caribe. Elming, S., Windenfalk, L., & Rodríguez., D. (1998).

Dunca, R y Hargraves, R. (1984), presentaron un modelo de evolución del Caribe en el cual el núcleo de la placa se formó de la emisión de lava de la placa Farallón al momento de desplazarse al este, por encima del punto caliente o hot spot de las Galápagos. Una vez que el espacio fue lo suficientemente grande, se dio el emplazamiento del Caribe.

América Central se encuentra en un margen convergente continental, muy activo en donde la Placa de Cocos subduce a la Placa del Caribe y cuyos márgenes son complejos cinturones tectónicos activos, que han estado evolucionando a lo largo del Cenozoico Dengo, D y Case, J. (1990). La dirección de subducción de estas dos placas es de N31°E, a una velocidad de 8 a 9 cm por año, con un ángulo aproximado de 80°, decreciendo hacia la parte sur de Nicaragua, hasta alcanzar los 60° en Costa Rica. Frischbutter, A. (2002).



El hecho de que el ángulo de subducción de las dos placas decrezca hacia la parte sur de Nicaragua, hace que los principales rasgos geotectónicos presentes en el país sean: la Depresión Nicaragüense de rumbo NW-SE y la Cadena Volcánica de América Central con dirección NW-SE, formada por un alineamiento de estrato-conos y escudos volcánicos.

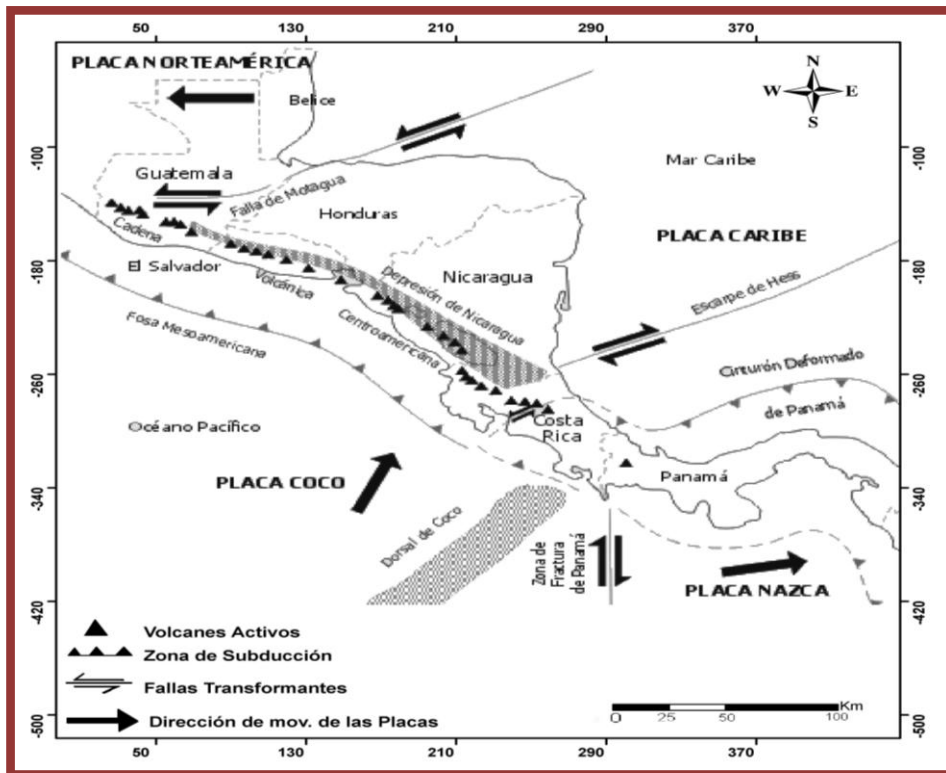


Figura. 2. Mapa Tectónico de América Central. Modificado de Centro para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC).

América Central ha sido dividida en tres grandes bloques tectónicos: Bloque Chortis, Bloque Chorotega y Bloque Maya, los cuales difieren completamente uno de otro con respecto a su geología, estructuras y rasgos morfo-tectónicos. Dengo, G. (1969, 1978):

- **Bloque Maya:** este bloque incluye la Zona de Fractura de Motagua, ubicada al norte de Guatemala, Belice, la Península de Yucatán y el oeste de México hasta el istmo de Tehuantepec. Dengo. (1990) en Donnely et al. (1990). Es de naturaleza continental,



constituido por rocas igneometamórficas que se encuentran cubiertas por rocas sedimentarias del Paleozoico Superior, su espesor es de 20 a 25 km hacia el norte y de 30 a 40 km hacia el sur.

- **Bloque Chortis:** geográficamente este bloque incluye la parte sur de Guatemala, El Salvador, Honduras y la parte norte de Nicaragua en conjunto con el Banco de Nicaragua. Dengo. (1990). Este bloque es de naturaleza continental, formadas por rocas metamórficas de edad Paleozoico a Pre-Terciario, intruidos por numerosos plutones de diferentes edades. Dengo y Case. (1990). En Nicaragua se manifiesta por una secuencia de esquistos verdes, filitas y micas que conforman el complejo metamórfico de Nueva Segovia, que a su vez representan las rocas más antiguas de Nicaragua. Zoppis Bracci. (1975) y una facie más joven de esquistos verdes y metavulcanitas, en conjunto con tobas, basaltos y diabasas. Engels, B. (1964).

- **Bloque Chorotega:** este bloque comprende la parte sur de Nicaragua y se extiende hasta la parte central de Panamá, se encuentra constituido por una corteza oceánica del manto astenosférico, generado en la zona de dorsal del Pacífico Este y las Galápagos. Denyer, P et al. (2000). Estas rocas están constituidas por basaltos masivos y en almohadillas, gabros peridotitas y peridotitas serpentinizadas sobreyacidos por sedimentos con abundantes restos de fósiles marinos conocidos como radiolarios.

El límite entre el bloque Chortis y el Chorotega no está definido, se considera que el límite entre ambos bloques es el sistema de fallas de la Península de Santa Elena y el Escarpe de Hees, ubicado al sur de la frontera entre Nicaragua y Costa Rica, pero este no se puede apreciar por que los depósitos aluviales y volcánicos del Cenozoico Tardío cubren la mayor parte del área. Dengo y Case. (1990).



CAPITULO III

3. Geología Regional y Geomorfología de Nicaragua

McBirney, A y Williams, H. (1965) dividen a Nicaragua en cuatro Provincias Geológicas; posteriormente Hodgson, G. (1976) agrega una provincia, quedando dividido el territorio Nicaragüense oficialmente en cinco Provincias Geológicas **(Fig.3)**: a) Provincia de la Costa de Pacífico, b) Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica, c) Provincia Central, d) Provincia del Norte, e) Provincia de la Depresión de Nicaragua o Graben de Nicaragua, las cuales se describen a continuación.

3.1.1. Provincia de la Costa del Pacífico: Se trata de una franja estrecha delimitada a lo largo de la costa del pacífico, desde Corinto en el norte hasta la frontera sur con Costa Rica, tiene de 10 a 35 Km de ancho, litológicamente se caracteriza por sedimentos de edad cretácica con aporte de material volcánico depositados en una cuenca de subsidencia de ambiente nerítico y deltaico, alcanzando un espesor aproximado de 820m. Kuang, J. (1971).

Esta provincia está constituida por seis formaciones geológicas de diferentes edades, las cuales son: Formación Rivas (cretácico Superior), Formación Brito (Eoceno), Formación Masachapa (Oligoceno), Formación El Fraile Y Tamarindo (Mioceno) y Formación El salto (Plioceno). Zoppis B. y Del Guidice. (1958).

Geomorfológicamente esta provincia comprende relieve moderado a abrupto, cerros en forma de cresta angosta y larga, con fuerte inclinación hacia el mar a veces onduladas y dislocadas, también se presentan numerosas cuevas, características de rocas estratificadas de diferentes tipos.

3.1.2. Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica: Esta provincia engloba la Cuenca Mosquitia, los Llanos de la Costa caribe, la Cuenca Atlántica Costera y el Banco de



Nicaragua. Ha sido dividida en 5 formaciones y un miembro como son: Formación Bragman Bluff, Formación Martínez, Formación Mosquitia, Formación Punta Gorda, Formación Touche y Miembro Kamanon. Hodgson, G. (2000).

La geomorfología de esta provincia se caracteriza por un área relativamente baja, parcialmente ondulada y cubierta por depósitos aluvionales recientes, presenta una serie de barreras costeras en forma de depósitos de dunas bien calibradas, formando lagunas y pantanos.

3.1.3. Provincia Central: Esta provincia está constituida principalmente por rocas volcánicas terciarias, incluyendo una serie de unidades sedimentarias epiclásticas y piroclásticas, se le conoce también con el nombre de Tierras Altas del Interior. Las rocas volcánicas Terciarias de esta provincia han sido dividida en dos grupos: Grupo Coyol y Grupo Matagalpa. Parson Corporation. (1972).

Geomorfológicamente esta provincia presenta un relieve fuertemente accidentado, resultado de un sistema de fracturas denso y complejo. Las formas de relieves predominantes son altiplanicies, mesas, cuestras, cordilleras, cerranías, colinas aisladas, terrenos montañosos quebrados moderadamente hasta muy escapados.

3.1.4. Provincia del Norte: Esta provincia contiene las rocas más antiguas de Nicaragua de edad Paleozoica a Mesozoica, se caracteriza por el predominio de rocas metamórficas conocidas con el nombre de esquistos de Nueva Segovia. Del Guidice. (1960).

La geomorfología de esta provincia está representada por relieve montañoso de mayor elevación conocido en Nicaragua como Cordillera de Dipilto, cerros en conos y domos que son característicos de rocas metamórficas e intrusivas.



3.1.5. Provincia de la Depresión o Graben de Nicaragua

Se trata de una estructura regional que se encuentra paralela a la zona de subducción, extendiéndose desde el Golfo de Fonseca hasta el extremo sureste de Nicaragua, con aproximadamente 70 Km de ancho y 300 Km de longitud y con dirección NW-SE, dentro de esta provincia se encuentran la Cadena Volcánica Cuaternaria Nicaraguense, los lagos de Nicaragua y la Depresión o Graben Nicaraguense, la cual constituye los principales rasgos de la actividad tectónica Cuaternaria de América Central. McBirney, A y Williams, H. (1965).

El origen de esta depresión se atribuye a esfuerzos tencionales producidos en el Pleistoceno, ocasionados por la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe, lo que dio lugar a la formación de la Cadena Volcánica activa del Cuaternario, cuando la actividad volcánica emigró gradualmente en dirección de la Fosa Mesoamericana. Kuang, J. (1971) y Weinberg, R. (1990).

Esta depresión está siendo rellenada por depositos aluvionales y piroclásticos, formando un espesor aproximado de 2000 m Hodgson, G. (2000). En la parte central de la depresión se levanta la cordillera volcánica de los Maribios con una extensión de 300 Km. La geomorfología de esta provincia comprende relieve bajo, un poco ondulado donde se encuentran los dos grandes lagos de Nicaragua, comprende también elevados conos volcánicos de la cordillera de los Maribios y relieve en forma circular perteneciente a cráteres y calderas; algunas de estas ultimas se encuentran ocupadas en su interior por una laguna.

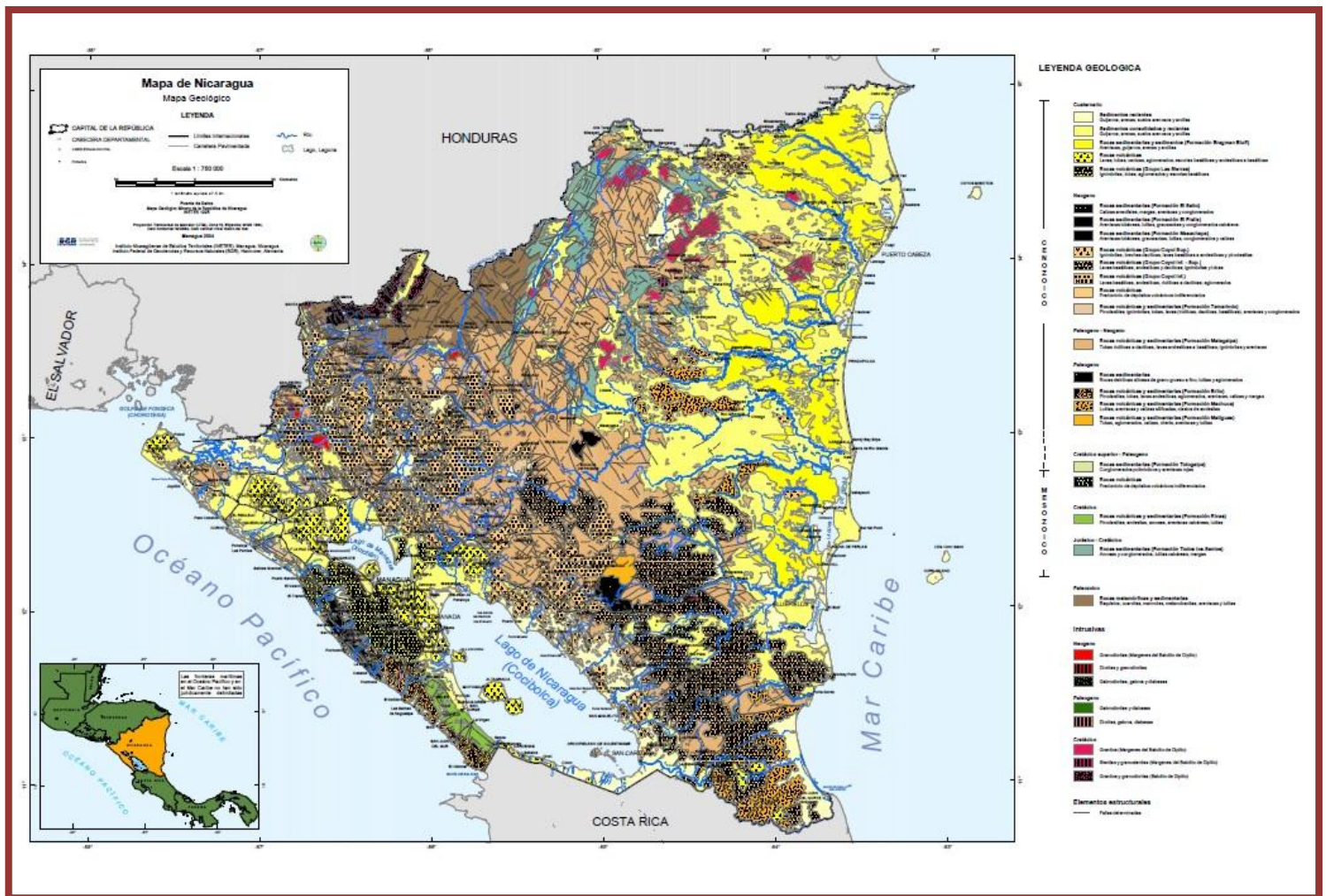


Figura.3. Mapa Geológico de Nicaragua. Escala 1:750,000. INETER-BGR, 2004.



CAPITULO IV

4. Geología Local

4.1. Estratigrafía del área de Managua

La estratigrafía de Managua, se caracteriza por una secuencia de depósitos volcano-sedimentarios. Litológicamente consiste en una serie de depósitos volcánicos de caída, lavas y flujos piroclásticos, los cuales fueron denominados como Grupo Las Sierras, de edad Terciaria. Kuang, J. (1971). Los depósitos más superficiales han sido denominados como Grupo Managua, de edad Cuaternaria, los cuales se caracterizan por ser una secuencia de rocas volcánicas intercaladas por suelos fósiles o suelos residuales.

Entre las posibles fuentes volcánicas de estos depósitos están los aparatos volcánicos más cercanos a Managua como: la Caldera Masaya, Caldera Apoyéque; los Cráteres Nejapa, Asososca y Tiscapa, las estructuras de colapso como Valle Ticomio; conos de escoria como Cerro Motastepe, Cerro Chiltepe y Loma Chico Pelón, que ahora son remanentes de la antigua actividad volcánica en el área de Managua. Havlíček et al. (1997). El origen de los suelos está relacionado con el drenaje de la cuenca sur del Lago de Managua, el cual es muy activo durante los meses de lluvia; la erosión hídrica producida en la parte sur de Managua, da origen a suelos aluviales y flujos hiperconcentrados que originan suelos arcillosos.

El trabajo mas actualizado sobre la estratigrafia para el área de Managua es el de Kutterolf, S et al. (2007). En el cual propone que el área está constituida por tres formaciones que son: Formación La Sierra, Formación Managua y Formación Chiltepe. A continuación se presenta una breve descripción de la columna estratigráfica propuesta por este autor (**Fig.4**).



4.1.1. Formación Las Sierras: Se encuentra dividida en dos unidades, las cuales están separadas por un paleosuelo, estas son:

- **Tefra Unicit:** Compuesta por un depósito de caída de pómez masivo, con espesor de 20 a 65 cm, en la base presenta una ligera gradación inversa y gradación normal en la parte superior.
- **Tefra Fontana:** Es una secuencia de capas de escoria de color negro, muy vesicular de composición andesítica, su espesor promedio es de 3 m y es atribuida a explosiones plinianas de la caldera Masaya.

4.1.2. Formación Managua: La formación Managua se compone de seis unidades piroclásticas emplazadas en los últimos 25 mil años, que van de composición basáltica a riolítica. Son atribuidas a erupciones muy explosivas de las calderas de Apoyo y Masaya.

- **Pómez de Apoyo(PA):** Está dividida en dos unidades de depósitos de caída, Apoyo Inferior y Apoyo Superior, separadas estas por un paleosuelo. Apoyo Inferior está compuesto por pómez de composición dacítica, su edad a través del método C^{14} es de $23,890 \pm 240$ años. Apoyo Superior está compuesto también por pómez dacítica, su edad a través del método C^{14} es de $24,650 \pm 120$ años.
- **Tefra San Antonio(TSA):** Es una secuencia de escoria negra, cubierta por oleadas piroclásticas que fueron encontradas al noroeste, norte y sur de la Caldera Masaya, su edad estimada en base al material subyacente es de 6,100 años.
- **Tefra La Concepción(TLC):** Se encuentra expuesta al sur de la Caldera Masaya, donde alcanza hasta 2 m de espesor, consiste en un depósito de caída de escoria muy vesicular de color negro.
- **Tripe Capa Masaya(TCM):** Se encuentra al noroeste de la caldera Masaya. Bice, D. (1985), identificó a este depósito como una capa deleznable de ceniza gruesa de color



negro, de 5 -10 cm de espesor, limitado por dos capas en la base y la cima de toba gris endurecida, de 1 - 2 cm de espesor .

- **Toba Masaya(TM):** Se trata de un depósito de oleadas que se extiende a más de 35 Km de la caldera de Masaya, corresponde a una de las erupciones más jóvenes registrada en la Caldera Masaya, la cual tiene una amplia distribución radial alrededor de la misma, se estima una edad de menos de 2,000 años.

- **Lapilli Ticuantepe (TIL):** Consiste en cuatro pequeñas capas de escoria color negro, vesicular, tamaño lapilli; las que están intercaladas por tres capas de cenizas ricas en líticos.

4.1.3. Formación Chiltepe: Se trata de una secuencia de depósitos volcanoclásticos, que está separada de la subyacente formación Mateare, por una discordancia regional de más de ~ 17 mil años y que está dividida en seis unidades principales.

- **Tefra de Apoyeque Inferior (LAq):** Consiste en un depósito de pómez de caída de color blanco de composición dacítica que se localiza al oeste y noroeste de la Península de Chiltepe.

- **Tefra de Apoyeque Superior (UAq):** Es un depósito de caída de pómez, tamaño lapilli, inversamente clasificado, su edad a través del método C^{14} es de $12,400 \pm 100$ años.

- **Tefra de Xiloá (XT):** Es un depósito de caída de pómez, vesicular y de color blanco. La edad de este depósito por medio del método de C^{14} aplicado a troncos de árbol carbonizado es de $6,105 \pm 30$ años.

- **Tefra Mateare (MaT):** Consiste en intercalaciones de pequeñas capas formadas por fragmentos de tamaño lapilli, cuya composición varía de dacítica en la base a andesítica en la parte superior.



- **Tefra Los Cedros (CdT):** Es un depósito de pómez de caída recientemente identificado de 15 cm de espesor que se localiza entre Mateare y el occidente de Managua. La composición global de este depósito es dacítica.
- **Tefra Chiltepe (CT):** Está compuesta por pómez de caída de composición dacítica, que fueron producto de la erupción más joven y violenta del complejo volcánico Chiltepe.

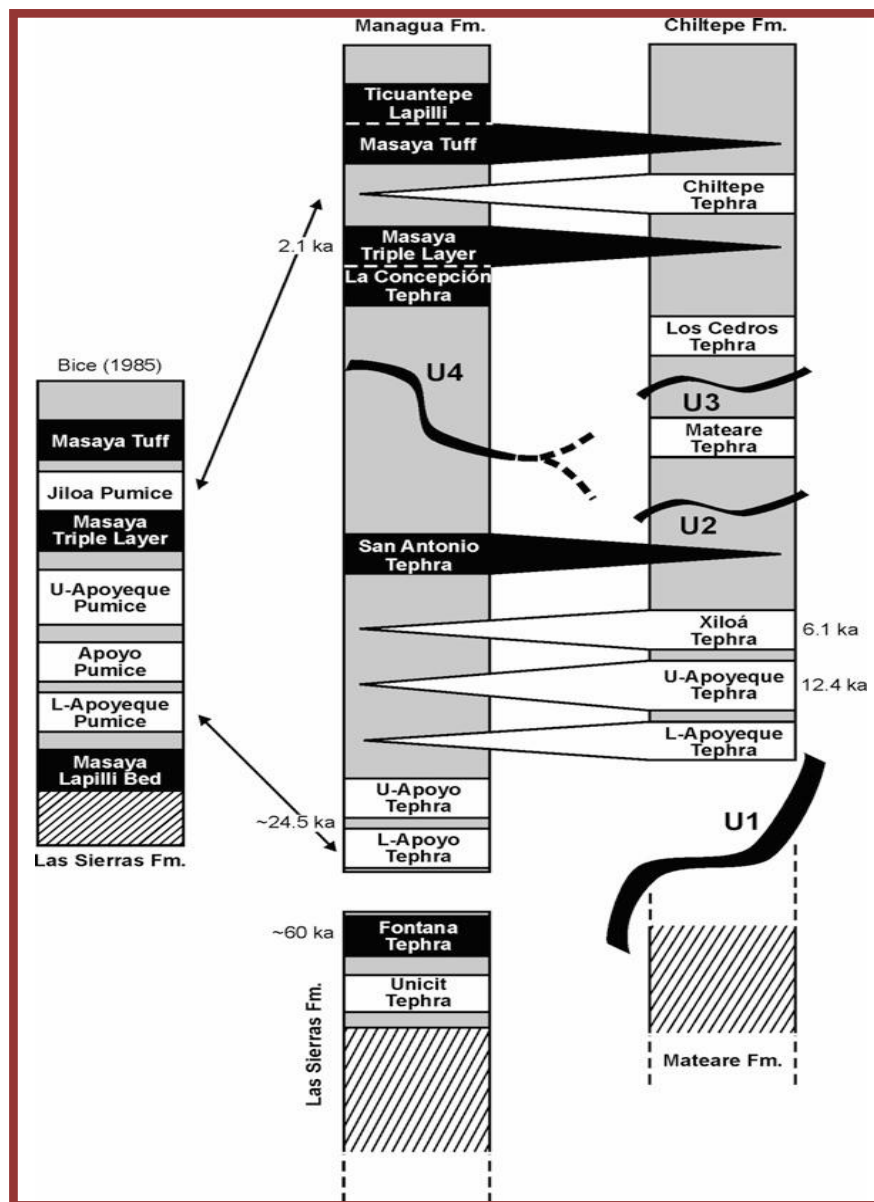


Figura.4. Columna Estratigráfica del área de Managua. (Kutterolf et al, 2007).



4.2. Geología del Graben de Managua y sus Alrededores

Diferentes autores han realizado estudios a cerca de la geología del Graben de Managua y sus alrededores entre los que destacan: McBirney, A y Williams, H. (1965); Kuang, J. (1971); Bice, D. (1985) ; Girard, G y Van Wyk de Vries (2005); Kutterolf, S et al. (2007) y el más reciente es el de Avellán, D. (2009), el cual se concentra en la tefroestratigrafía del occidente de Managua. Todos estos autores coinciden con que la geología del área de estudio está constituida por depósitos volcanoclasticos, los cuales fueron originados en un ambiente volcánico explosivo; con edades comprendidas desde el Terciario tardío hasta el Cuaternario.

Este estudio es una propuesta de la actualización del mapa geológico de Managua tomando en consideración el trabajo actualizado de Kutterolf, S et al. (2007), en el cual propone que la estratigrafía de Managua se divide en tres formaciones: Las Sierras, Chiltepe y Managua.

En base a la interpretación de fotografías aéreas, imágenes de satélite, mapa de modelo sombreado, mapa topográfico y en conjunto con el levantamiento de campo, se elaboró el mapa geológico del Graben de Managua y sus alrededores (**Fig.5**). A continuación se describen las tres formaciones que conforman la geología de Managua con sus respectivas unidades, encontradas durante el levantamiento de campo para esta investigación.

4.2.1. Formación Las Sierras

4.2.1.1. Unidad Ignimbrita Andesita Basáltica

El basamento del área de estudio está constituido por ignimbritas soldadas de composición intermedia a basáltica, que pertenecen a la formación Las Sierras; la cual hasta la fecha no ha sido estudiada a detalle, por lo que su fuente no es conocida. Estas



ignimbritas se encuentran cubiertas por secuencias de depósitos piroclásticos de caída, que están intercalados por suelos fósiles o suelos residuales (McBirne, A y Williams, H.1965; Kuang J.1971; Bice, D. 1985; Girard, G y Van Wyk de Vries 2005 y Kutterolf, S et al. 2007). Avellán, D. (2009), reporta haber encontrado aflorando estas rocas en los alrededores de Ticomo, en las laderas de la laguna de Nejapa y en algunos puntos en las laderas de La Cuesta El Plomo.

Durante el levantamiento de campo de esta investigación se pudo constatar que se trata de una roca compacta, masiva, de color café claro (**Foto.1.A**); en la cual macroscópicamente se pueden apreciar fragmentos angulares de lava color gris, y pómez contenidos en una matriz de ceniza muy fina. (**Foto.1.B**). Los fragmentos de pómez son subredondeados, de color marrón y muy vesicular.

El espesor de esta unidad no pudo ser determinado en esta investigación, ya que su base no fue observada; sin embargo Kuang, J. (1971), reporta un espesor de 60m y Avellan, D. (2009), menciona que al sur de Ticomo, donde está mayor expuesta la ignimbrita tiene un espesor aproximado de 30m.

Microscópicamente se puede observar que esta roca tiene textura litocristalovitrioclastica, en la que se puede ver claramente que predominan los fragmentos líticos, los cuales constituyen el 50% de toda la muestra, con formas que van desde subangulosas a subredondeadas (**Foto.2**). Estos fragmentos líticos en general poseen texturas que varían de hialopilitica, pilotaxítica a intersertal. También se observan algunos cristales de pómez que conservan su textura fluidal, conforman el 2% de la muestra.

Los cristoloclastos en la muestra están representados por plagioclasas de composición media (Andesina) y piroxenos pertenecientes al grupo de los clinopiroxenos de tipo



Augita; ambos poseen formas subangulares, se encuentran mal conservados y constituyen el 25% de toda la muestra.

Las plagioclasas se observan macladas y algunas zonadas. Los clinopiroxenos se observan en su mayoría alterados por clorita y algunos se encuentran maclados.

Los minerales metálicos (opacos), aparecen distribuidos por toda la muestra con formas subhedrales, constituyen el 6% del total de la muestra.

El material cementante está formado por una mezcla de vidrio volcánico, minerales arcillosos y carbonato de calcio, conforma el 15% de la muestra.

Los procesos de alteración que se observan en esta rocas son: Carbonitización que aparece relleno los huecos del vidrio volcánico, lo que hace que se formen esferulitas y Cloritización la cual aparece afectando principalmente a los minerales ferromagnesianos.

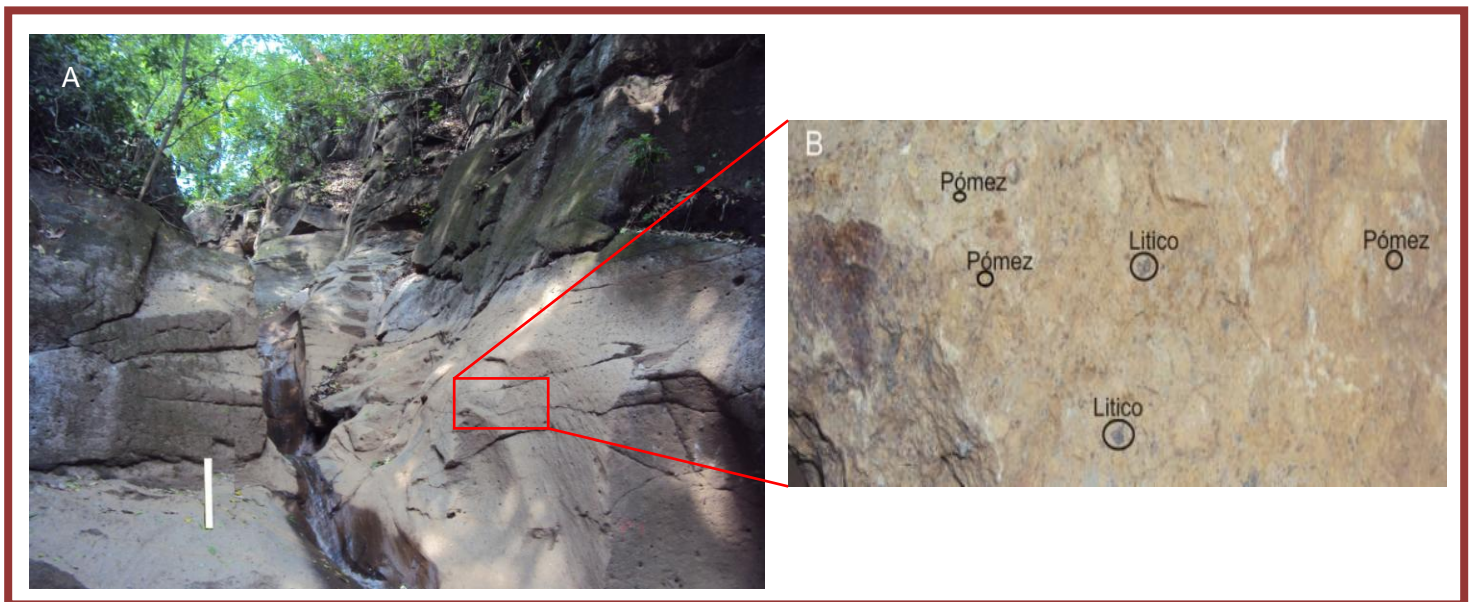


Foto.1. A). Afloramiento de ignimbritas en Ticomo. Coordenadas: 1335937N - 574451E. B). Detalle de la textura de las ignimbritas en muestra de mano; se observan claramente fragmentos de pómez y líticos de composición basáltica, soportados en una matriz de ceniza.

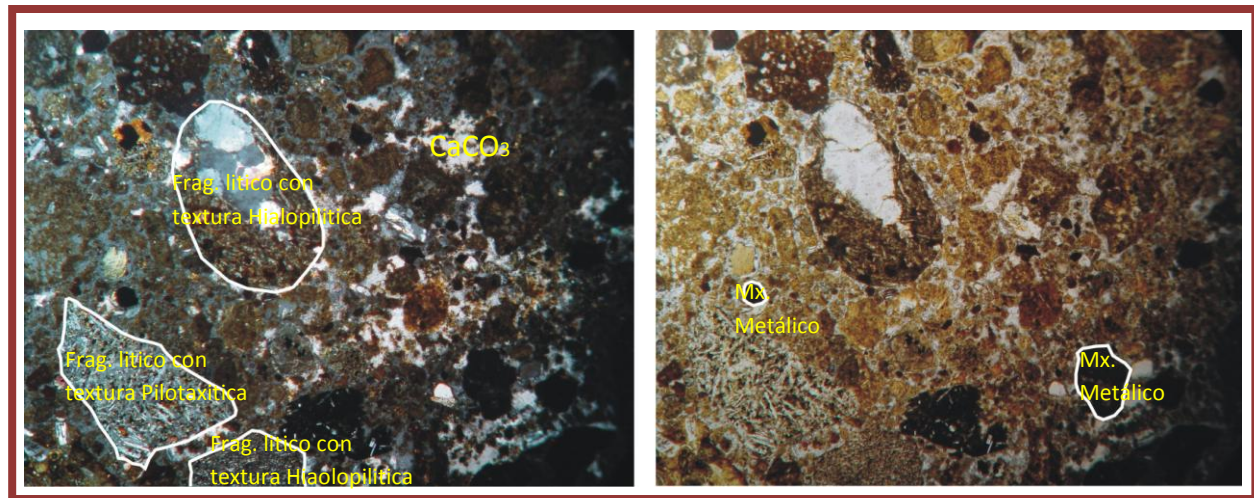


Foto.2. A). Vista de la ignimbrita en seccion delgada con nicoles cruzados, se observan fragmentos liticos, de composición basáltica con bordes subredondeados y subangulosos, de diferentes texturas; cementados por vidrio volcánico y alteraciones de carbonato de calcio relleno huecos. Aumento: 5x. **B).** Seccion delgada con nicoles paralelos, se pueden observa los minerales metálicos distribuidos por toda la muestra. Aumento:5x.

4.2.1.2. Unidad Tefra Unicit

Fue descrita por Kuttrolf, S et al. (2007), con este nombre por que el afloramiento más característico de esta unidad, se encuentra detrás de la Universidad Iberoamericana de Ciencia y Tecnología (UNICIT); litologicamente está compuesta por un depósito de caída de pómez masivo, de composición dacítica; cuya característica mas distintiva es la menor evolución en la composición del vidrio en comparación con otros depósitos de pómez y su alto contenido en hierro; estos autores mencionan que la fuente de esta unidad puede estar ubicada en la Península de Chiltepe, ubicada al sur del Lago de Managua.

Durante el trabajo de campo de esta investigación se encontró aflorando esta unidad en el sector de Ticomo, donde se pudieron determinar algunos rasgos más a detalle de sus características físicas. La Tefra Unicit consiste en un depósito de caída de pómez muy vesicular de espesor variable, que puede llegar a ser hasta de 3cm, color amarillento, relación grano a grano, con abundantes liticos accidentales de composición basáltica que tienen tamaños desde 0.3 hasta 1 cm, en la base del depósito se observa una ligera



gradación normal y en la parte superior gradación inversa, lo que evidencia un comportamiento ciclico en la energia de la erupción, que al inicio era fuerte, posteriormente disminuyó y finalmente aumentó, a este tipo de gradación se le conoce con el nombre de simétrica.

En el área de estudio esta tefra aparece cubierta por un flujo de ceniza compacto (toba), de color gris oscuro, muy alterado y fracturado de espesor variable que va desde 4 hasta 10 cm en la parte mejor expuesta y flujos de oleadas picroclásticas las cuales están intercaladas por pequeños flujos de ceniza compacta de 0.8 cm de espesor.

El espesor de esta unidad no pudo ser calculado en esta investigación, debido a que la cantidad de afloramientos disponibles es muy limitada y en ocasiones solo se encuentra la parte basal de la unidad, esto como consecuencia de los procesos de erosión a los que se encuentra expuesta esta unidad.

4.2.1.3. Unidad Tefra Fontana

Esta unidad consiste en un depósito de ceniza tamaño lapilli, color negro y sin estratificación interna; que se expone al norte, noroeste de la caldera Masaya y en los alrededores de Managua. La fuente de esta unidad se localiza algunos kilómetros al noroeste de la Caldera Masaya. (Bice, D. 1985). Recientemente Kutterolf, S et al. (2007), concluyen que ésta tefra representa el limite superior de la Formación Las Sierras y la definen como una secuencia de capas de escoria muy vesicular, de color negro y composición andesita basáltica.

Durante esta investigación se confirmó que se trata de un depósito de caída de escoria **(Foto.3)**, dispuesto en una secuencia de 6 capas bien estratificadas e intercaladas por capas delgadas de ceniza cuyo espesor no superan los 3 cm. Esta escoria es de color



negro, de relación grano a grano, buena selección, muy vesicular y de tamaño lapilli. Las 6 capas de escoria tienen espesores diferentes de 0.4, 0.1, 0.24, 0.12, 0.3 y 0.24 m.



Foto.3. Afloramiento de Tefra Fontana, ubicado detrás del edificio movistar. Coordenadas: 1338649N – 581340E.

El espesor de esta unidad es variable ya que en algunos lugares no se encuentra completa las 6 capas, esto como consecuencia de la erosión a la que se está expuesta esta unidad, muestra de lo antes mencionado se puede observar al oeste de Ticomo donde solamente aparecen 4 capas, las cuales tienen espesores de 0.24, 0.12, 0.3, 0.24 m y al norte de Nejapa donde aparecen nada mas 3 capas con espesores de 0.12, 0.3, 0.24 m; sin embargo Kuttefolf, S et al. (2007), estiman un espesor promedio para esta unidad de 3 m.

Su edad fue estimada por Bice, D. (1985), mediante correlación estratigráfica entre 25 y 35 mil años y Kutterolf, S et al. (2007), propone una edad entre 55 y 68 mil años, mediante dataciones obtenidas en núcleos de sedimentos, en la costa del lago de Nicaragua.



4.2.2. Formación Chiltepe

4.2.2.1. Unidad Tefra Apoyeque Inferior

Esta unidad consiste en un depósito de caída de pómez de composición dacítica, tamaño lapilli, uniformemente graduada, de color blanco que en ocasiones cambia a marrón; la cual se encuentra en los alrededores de Mateare. La fuente de este depósito se atribuye al Volcán Apoyeque; el cual se localiza en la Península de Chiltepe. (Bice, D. 1985; Hradecký, P et al. 1997. Y Kutterolf, S et al. 2007).

En esta investigación se encontró aflorando esta unidad en la Comarca San Andrés de la Palanca, en los alrededores de Mateare y en la Península de Chiltepe, donde se pudo confirmar que se trata de un depósito de caída de pómez, con gradación normal en la parte basal y gradación inversa en la parte superior (**Foto.4.A**), a este tipo de comportamiento se le conoce como gradación simétrica, las cuales se originan por una variación cíclica de la energía durante la erupción del volcán.

Esta pómez macroscópicamente es de color blanco, con pocas vesículas, clastos angulosos; cuyos tamaños van desde milimétricos hasta 6 cm y hay presencia de líticos accidentales de composición basáltica en toda la unidad. Los clastos de pómez de mayor tamaño se localizan en la parte superior del depósito (**Foto.4.B**). Dentro de los minerales que se pueden observar a simple vista en esta pómez están cristales alargados de plagioclasas, anfíboles y óxidos de hierro. En ocasiones esta unidad aparece cubierta por pequeños paquetes de oledas piroclásticas de aproximadamente 3 cm de espesor.

El espesor de esta unidad es desconocido ya que no se observó su base; sin embargo Kutterolf et al. (2007), calculan un volumen total de 1.0 Km^3 equivalente a roca densa y en base a C^{14} reportan una edad de aproximadamente 17 mil años para esta unidad.

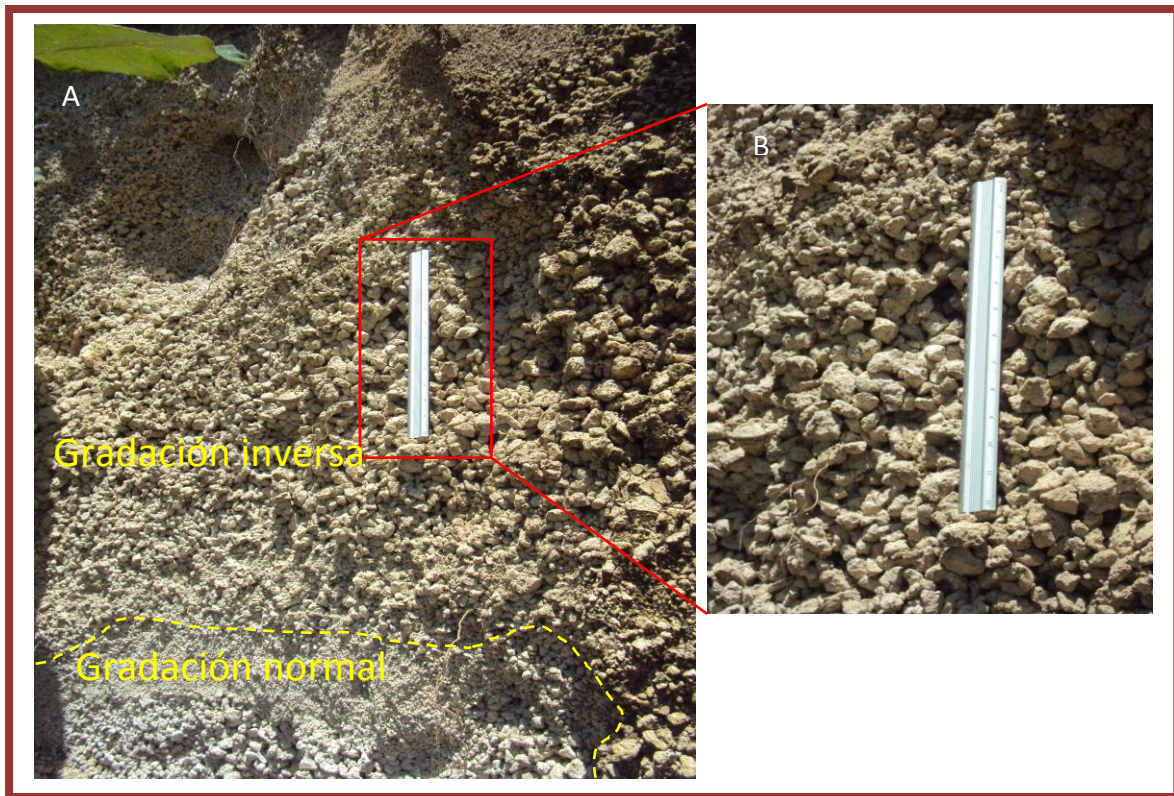


Foto.4. A). Afloramiento de Tefra Apoyeque Inferior, ubicado en Ciudad Sandino; se observa alternancia de gradación normal en la base y gradación inversa en la parte superior del afloramiento. Coordenadas: 1342613N – 564807E. B). Detalle de los clastos con mayor tamaño, que se encuentran ubicados en la parte superior de este afloramiento.

4.2.2.2. Unidad Tefra Apoyeque Superior

Esta unidad consiste en un depósito de caída de pómez con gradación inversa; Bice, D (1985), atribuye su fuente al Volcán Chiltepe, debido a que los mapas de isopacas construidos para este depósito muestran un incremento de espesor hacia el norte, en el complejo volcánico Chiltepe. Sin embargo un estudio más detallado del mismo, realizado por Kutterolf, S et al. (2007), en base a mapas de isopacas e isopletras sugieren que la fuente de esta unidad se ubica al norte de la Cuesta El Plomo, en el Complejo Volcánico Chiltepe, con dispersión hacia el oeste.



En el trabajo de campo de esta investigación se encontró aflorando esta unidad en la comarca Los de Cuajachillo, Península de Chiltepe y en el sector de Ticomo, donde se comprobó que se trata de un depósito de caída de pómez (**Foto.5.A**).

Las características generales de este depósito son: fragmentos angulosos de pómez, color blanco, muy vesicular, gradación inversa y presencia de líticos accidental de composición basáltica. Los líticos tienen tamaños que van desde 0.5 hasta 2 cm. Los fragmentos de pómez más grandes alcanzan tamaños de hasta 6 cm y se encuentran en la parte superior del depósito (**Foto.5.B**). Ocasionalmente esta unidad aparece por debajo de un flujo de ceniza consolidada color gris oscuro de aproximadamente 3 m de espesor. Macroscópicamente se puede observar que esta pómez está constituida por cristales de anfíboles, plagioclasas y óxidos de hierro inmersos en una matriz formada por vidrio volcánico.

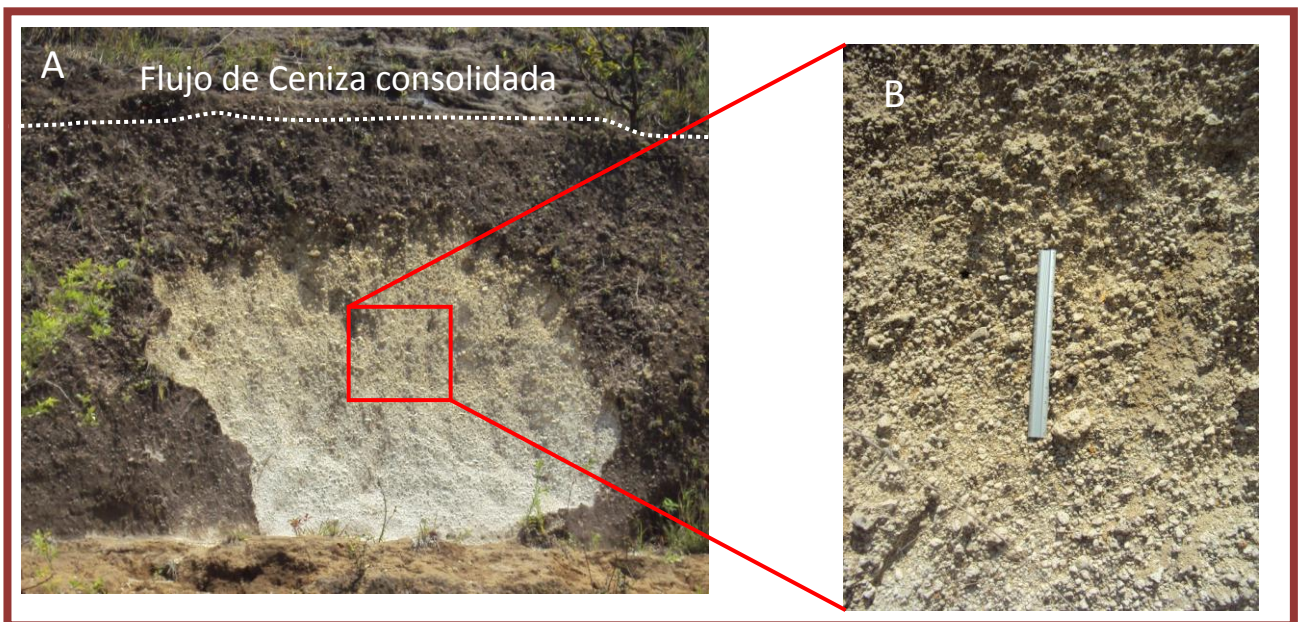


Foto.5. A). Afloramiento de Tefra Apoyeque Superior por debajo de un flujo de ceniza consolidada, ubicado en la Comarca Los de Cuajachillo; se observa la gradación inversa del depósito. Coordenadas: 1343665N- 563797. **B).** Detalle del tamaño de los fragmentos más grande de pómez, ubicados en la parte superior del depósito.



El espesor de esta unidad en esta investigación no fue determinada ya que no se pudo observar su base; sin embargo Bice, D. (1985), estima un equivalente a roca densa de 2 Km³ y Kutterolf, S et al. (2007), calculan un volumen total de 2.2 Km³, también estos últimos autores en base al método de C¹⁴, reportan una edad de 12,400 ± 100 años para esta unidad.

4.2.2.3. Unidad Tefra Mateare

Kutterolf, S et al (2007) sub-divide esta unidad en cuatro sub-unidades (A, B, C y D) que se encuentra aflorando únicamente a lo largo de la orilla del Lago de Managua, al noroeste y suroeste de Mateare.

En este trabajo se encontró aflorando esta unidad, en las cercanías del volcán Apoyeque (**Foto.6**), donde se pudo constatar que tres de las cuatro unidades que describen Kutterolf, S et al (2007), presentan las siguientes características: La unidad A (U.A), está compuesta por un depósito de caída de pómez color rosado pálido, con gradación normal y clastos sub-redondeados los cuales tienen tamaños desde ceniza hasta la lapilli grueso. Los clastos de pómez en la base alcanzan tamaños hasta de 5 cm. La unidad B (U.B), consiste en un depósito de caída de pómez masivo, con clastos sub-redondeados de color rosado pálido y tamaño de lapilli fino. La unidad C en este afloramiento no se observó, probablemente porque fue erosionada. La unidad D (U.D), consiste en un flujo de ceniza bien consolidado, de color amarillento, con abundante lapilli acrecional; que representa la fase final de la erupción tipo freatomagmática, que dio origen a esta unidad.

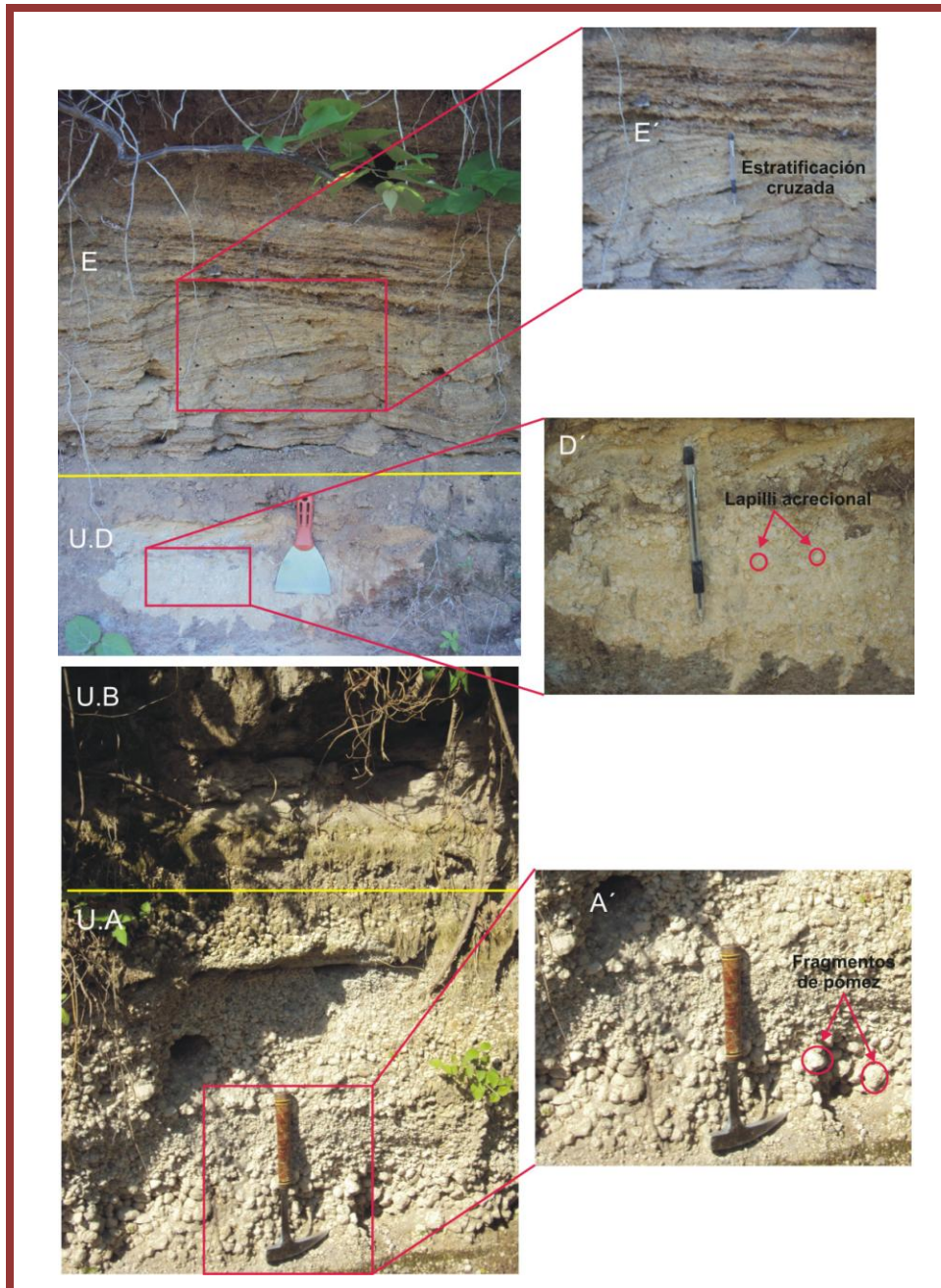


Foto.6. Afloramiento de Tefra Mateare, en el cual se observan las unidades A, B y C. Coordenadas: 1353053N- 575407E. A'). Detalle del tamaño de los fragmentos más grandes de la unidad A. B'). Detalle del lapilli acrecional contenidos en la unidad B. E) Flujo de ceniza que se encuentra por encima de la Tefra Mateares. E'). Detalle de estratificación cruzada que se encuentra en el flujo de ceniza.

Esta tefra se encuentra en el área de estudio cubierta por un flujo de ceniza compacto (Foto.6.E), el cual en la parte basal presenta estratificación cruzada y en la parte superior



abundante fragmentos líticos, de composición basáltica; con tamaños variables que van desde milimétricos hasta 2½ cm.

Kutterolf, S et al (2007), basados en mapas de isopacas e isopletras sugieren que la fuente de esta unidad se ubica en la parte oriental de las tierras bajas de Mateare, con una dispersión hacia el WNW y calculan un volumen equivalente a roca densa de 1 Km³, para esta unidad.

4.2.2.4. Unidad Tefra Los Cedros

Esta unidad consiste en un depósito de caída de pómez, con gradación inversa y composición dacítica. Su distribución espacial es limitada ya que solo se encuentran algunos afloramientos en Mateare y al occidente de Managua. Kutterolf, S et al (2007).

Durante esta investigación se encontró aflorando esta unidad al occidente de Managua, comprobando que efectivamente se trata de un depósito de caída de pómez, el cual está intercalado con pequeñas capas de ceniza, de aproximadamente 5 cm de espesor **(Foto.7.A)**. Las características generales del depósito son: fragmentos de pómez color rosado que en ocasiones cambian a gris, clastos sub-redondeados, relación grano a grano; el tamaño de los clastos varía desde 1 a 3 cm y en todo el depósito se observa abundantes líticos, de composición basáltica los cuales tienen tamaños variables que van desde 1 mm hasta 7 cm **(Foto.7.B)**.

Macroscópicamente se puede observar que los fragmentos de pómez de esta unidad están constituidos por cristales alargados de plagioclasas, anfíboles y óxidos de hierro; inmersos en una matriz de vidrio volcánico.

En esta investigación no se pudo determinar el espesor de la unidad, ya que no se observó su base; sin embargo Kutterolf, S et al (2007) calculan un volumen



correspondiente a roca densa de aproximadamente 0.5 km^3 y sugieren que su fuente se encuentra en la Península de Chiltepe, con un eje de dispersión hacia el SSW.

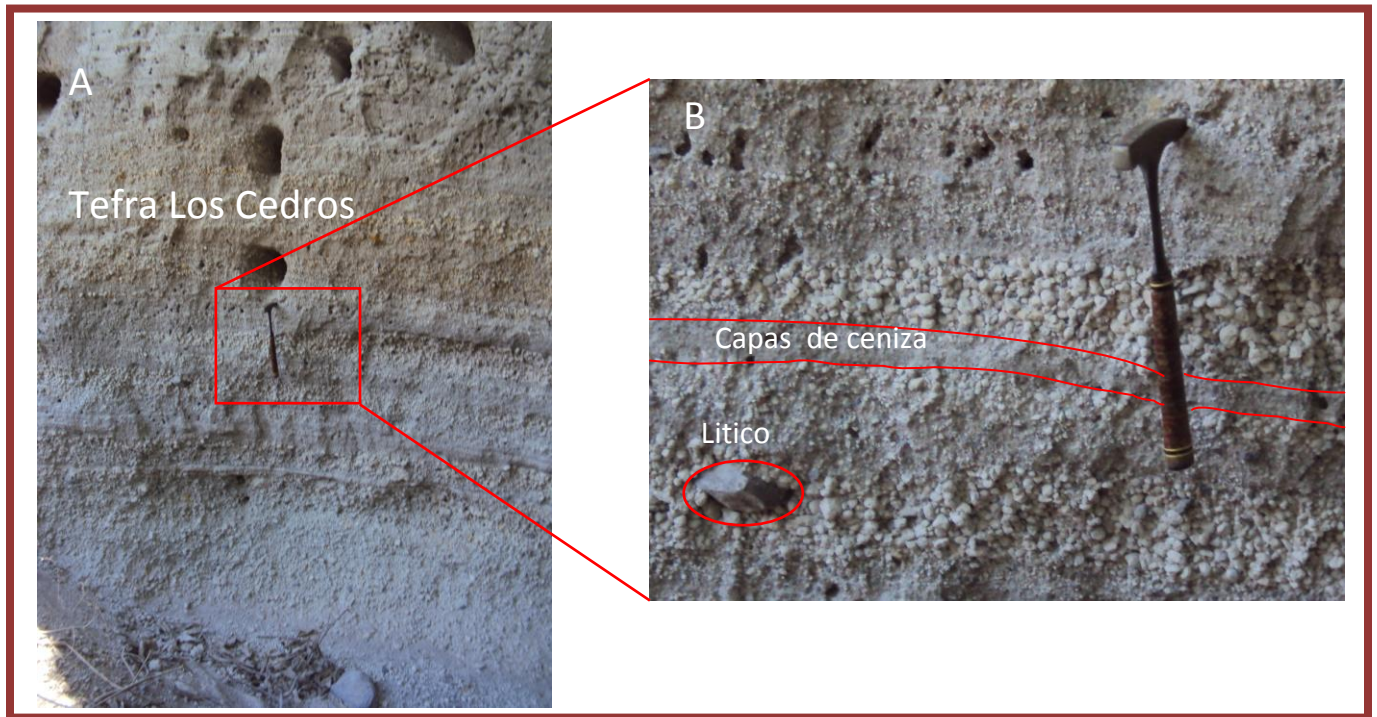


Foto.7. A). Afloramiento de Tefra Los Cedros. Coordenadas: 1349640N- 572631E. B). detalle del tamaño de los tilicos y de las capas de ceniza que se encuentran en el depósito de Tefra Los Cedros.

4.2.3. Formación Managua

4.2.3.1. Unidad Pómez de Apoyo

Esta unidad está constituida por un depósito de pómez, que puede ser sub-dividido en tres sub-unidades: Apoyo Inferior con edad de 20,920 años, Apoyo Medio con edad de 16,000 años y Apoyo Superior de edad desconocida. Bice (1985). Sin embargo en un estudio más detallado de esta unidad hecho por Kutterolf, S et al (2007), la dividen en Apoyo Inferior y Apoyo Superior, las cuales están separadas únicamente por un paleosuelo de color marrón.



Durante el levantamiento de campo de esta investigación se encontró aflorando únicamente Apoyo Superior; que consiste en un depósito de caída de pómez, el cual se encuentra sobreyaciendo un paleosuelo de color marrón, que contiene fragmentos angulosos de pómez (**Foto.8**). Este depósito se extiende en el área de estudio en dirección de sur a norte y aparece expuesto en algunos cortes estratigráficos en Las Sierras de Managua, al sur y oeste de Ticomo.

Las características geológicas generales, que se pudieron observar en este trabajo de Apoyo superior son: fragmentos de pómez color rosado, de tamaño ceniza fina a lapilli grueso, clastos angulosos, relación grano a grano, gradación inversa y presencia de líticos accidentales de composición basáltica los que tienen tamaños variables que van desde 5 mm hasta 2 cm.

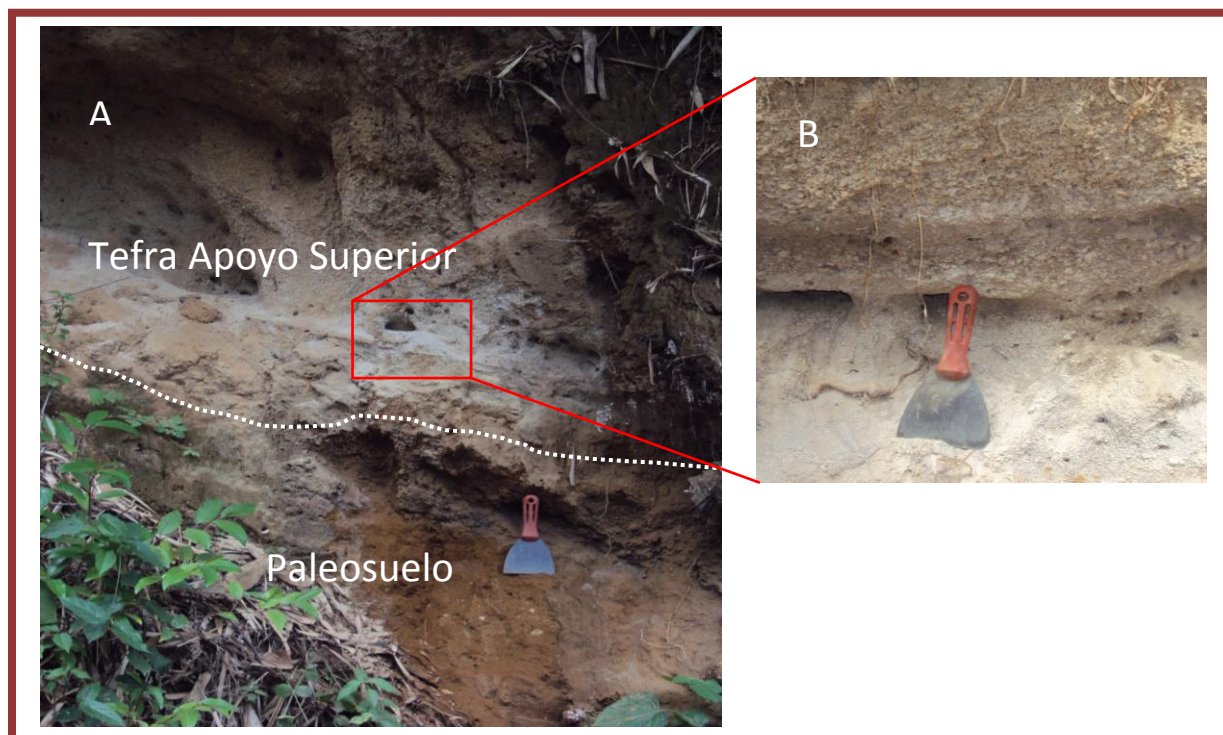


Foto.8. A). Afloramiento de Tefra Apoyo superior, expuesta por encima de un paleosuelo el cual contiene fragmentos de pómez, encontrado en un corte de la localidad Las Nubes. Coordenadas: 1329952N- 581610E. **B).** Detalle de Tefra Apoyo Superior; se observa gradación inversa.



Los mejores afloramientos para la descripción de las características de este depósito, se encuentran en la localidad Las Sierras de Managua; ya que más hacia el norte en los alrededores de Ticomo aparece únicamente la parte inferior del depósito, esto como consecuencia de los procesos erosivos a los que se encuentra expuesta esta unidad en el área de estudio.

Debido a que en esta investigación se encontró aflorando solamente Apoyo superior, no se pudo conocer el espesor de toda la unidad; sin embargo Kutterolf, S et al (2007), calcularon un volumen total de 16 Km^3 y basados el método de C^{14} , reportan una edad de $24,650 \pm 120$ años.

4.2.3.2. Unidad Tefra San Antonio

Esta unidad consiste en secuencias de capas de caída de escoria color negro, que se encuentra al noroeste, norte y sur de la caldera Masaya. Los afloramientos de esta unidad son muy pocos y se encuentran afectados por procesos de erosión post-emplazamiento. Kutterolf, S et al. (2007). En base al análisis de mapas de isopacas elaborados para la capa más extensa de esta unidad, se deduce que la fuente es la Caldera Masaya, con dispersión hacia el NW. (Pérez, W and Freundt, A. 2006 y Kutterolf, S et al. 2007).

Durante el trabajo de campo de esta investigación se encontró aflorando esta unidad en la localidad Santa Ana, ubicada al este de Las Sierras de Managua, donde aparece por encima de un paleosuelo muy alterado, de color amarillo **(Foto.9.A)**. Esta unidad consiste en un depósito conformado por secuencias de caída de escoria, las cuales presentan las siguientes características: fragmentos angulosos de color negro, relación grano a grano, tamaño lapilli grueso, masivo, poco escoriácea, buena selección de los fragmentos y muy deleznable.



Estas secuencias de escorias, están separadas por pequeñas capas de ceniza consolidada de color gris oscuro, las que en ocasiones se observan de color blanco y que tienen espesores variables; la capa de ceniza con mayor espesor es de 2 cm (**Foto.9.B**).

El espesor de esta unidad no fue identificado debido a que hay muy pocos afloramientos disponibles y estos se encuentran muy erosionados, por lo que solo logró observarse una parte del depósito; sin embargo Pérez, W and Freundt, A. (2006), calculan un volumen total para la secuencia con mayor extensión de 0.7 Km^3 y estiman una edad menor de 6,100 años por para toda la unidad, por medio de correlaciones estratigráficas.

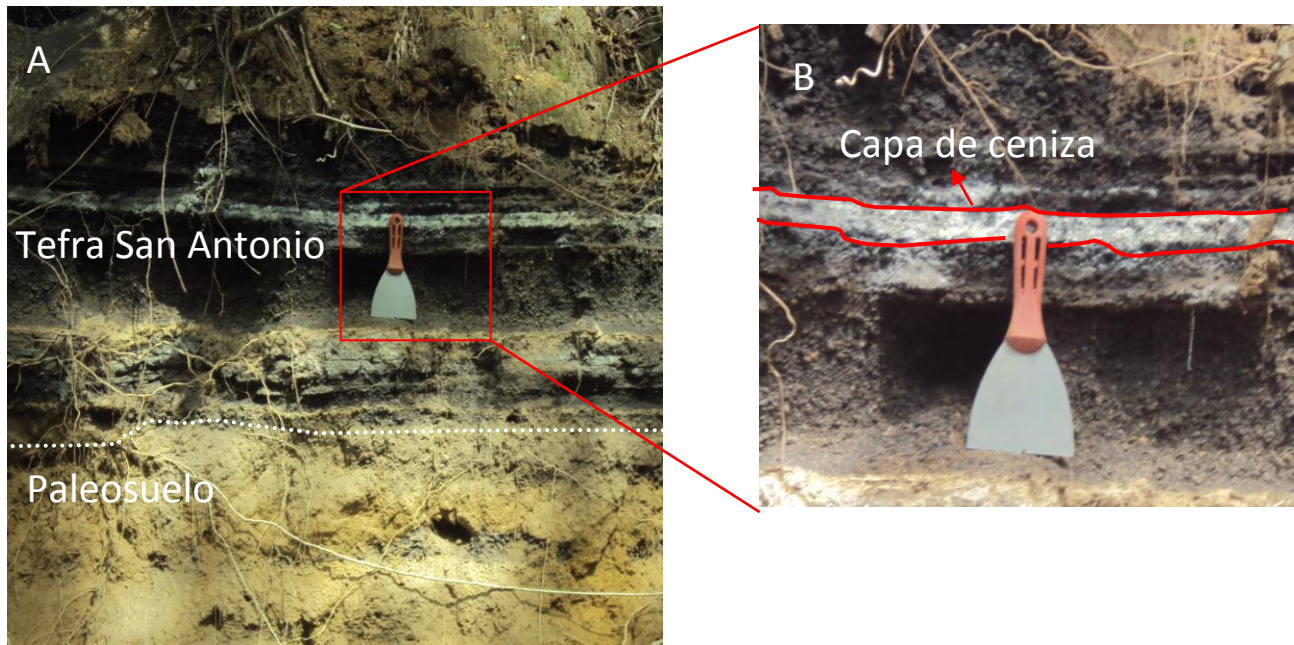


Foto.9. A). Afloramiento de Tefra San Antonio, por encima de un paleosuelo. Coordenadas: 1331842N- 581971E. **B).** Detalle de la capas de ceniza con mayor espesor que se encuentran en la Tefra San Antonio.

4.2.3.3. Unidad Tefra La Concepción

Esta unidad consiste en un paquete de 16 capas bien ordenadas de lapilli grueso, color negro y composición basáltica; estas capas se encuentran separas por pequeñas capas de tobas. Según el análisis de mapas de isopacas e isopletras construidos para esta



unidad, se deduce que el patrón de dispersión se extiende hacia el sur de la Caldera Masaya. (Pérez, W and Freundt, A. 2006 y Kutterolf, S et al. 2007).

En el trabajo de campo de esta investigación se encontró aflorando esta unidad al sur del área de estudio, en la localidad Las Nubes; donde tiene una amplia distribución. La Tefra Concepción (**Foto.10**), consiste en un depósito de caída de escoria con las siguientes características; fragmentos angulosos de color negro, muy vesicular, relación grano a grano, masivo y clastos con tamaños desde 1mm hasta 3 cm. Todo el depósito se encuentra intercalado por pequeñas capas de ceniza compacta (toba) de color café cuyo espesor no excede los 5 cm.

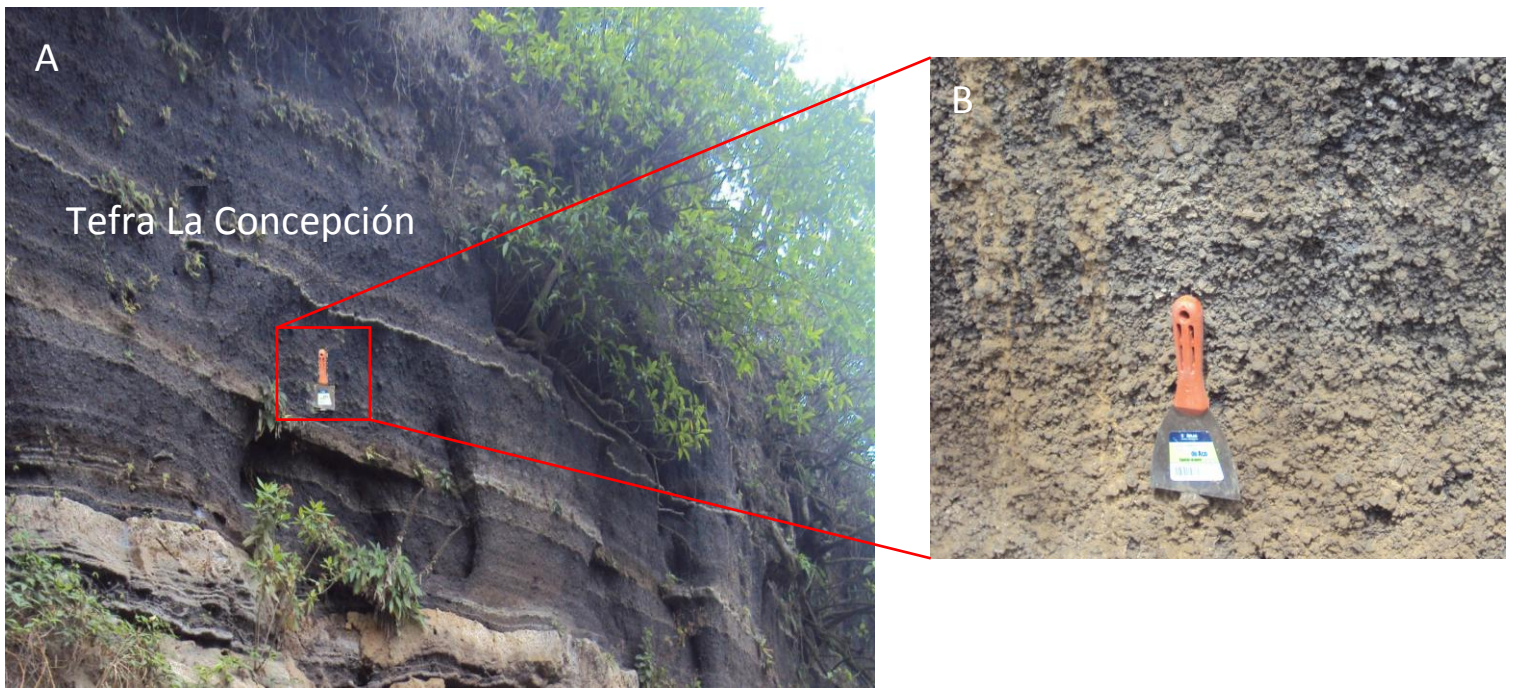


Foto.10. A). Afloramiento de Tefra La Concepción; se observa claramente las intercalaciones de capas de ceniza que se encuentran en esta unidad. Coordenadas: 1327879N-578544E B). Detalle de los fragmentos de escoria que conforman esta unidad.

Kutterolf, S et al (2007), estiman un volumen total de Tefra de 0.2 Km³. La edad de esta unidad aun no es determinada ya que hacen falta estudios más a detalle de la misma.



4.2.3.4. Unidad Triple Capa Masaya

Esta unidad fue descrita inicialmente por Bice, D. (1985), como una capa deleznable de ceniza gruesa, color negro, con espesor de 5-10 cm; la cual está limitada en la base y en la cima, por dos capas de toba gris endurecida, con espesor de 1-2 cm. Un estudio más detallado realizado por Pérez, W and Freundt, A. (2006), de la misma unidad la describen como un depósito compuesto por siete capas de caída de escoria, color negro (C1, C2, C3b, C4, C6, C8 y C10), las cuales tienen una buena selección en sus granos y se encuentran separadas por cuatro capas delgadas (C3a, C5, C7 y C9), de ceniza endurecida. Esta unidad es un estrato muy común en el área urbana de Managua y aumenta su espesor conforme se acerca a la Caldera Masaya. Woodward-Clyde Associates. (1975)

En el levantamiento de campo de esta investigación se encontró aflorando esta unidad al occidente de Managua, al sureste de la Laguna de Asososca y en Las Sierras de Managua. En estos lugares se pudo constatar que la Triple Capa Masaya consiste de una secuencia de seis capas de escorias, las cuales presentan las siguientes características: fragmentos angulosos de color negro y en ocasiones gris oscuro, de tamaño lapilli fino a medio, poco escoriácea, relación grano a grano y muy deleznable. Estas seis secuencias de escoria se encuentran intercaladas por tres capas de ceniza consolidada color marrón **(Foto.11)**.

El espesor promedio encontrado en el campo para esta unidad es de 30 cm y en ocasiones disminuye hasta 15 cm, esto como consecuencia de los procesos erosivos a los que se encuentra expuesta la unidad en el área de estudio.



La edad de esta unidad no está bien definida ya que en base a dataciones por medio de C^{14} , Bice, D. (1985), reporta una edad aproximada de 7,000 a 9,000 años y Pérez, W and Freundt, A. (2006), reportan una edad de aproximadamente $2,120 \pm 120$ años.

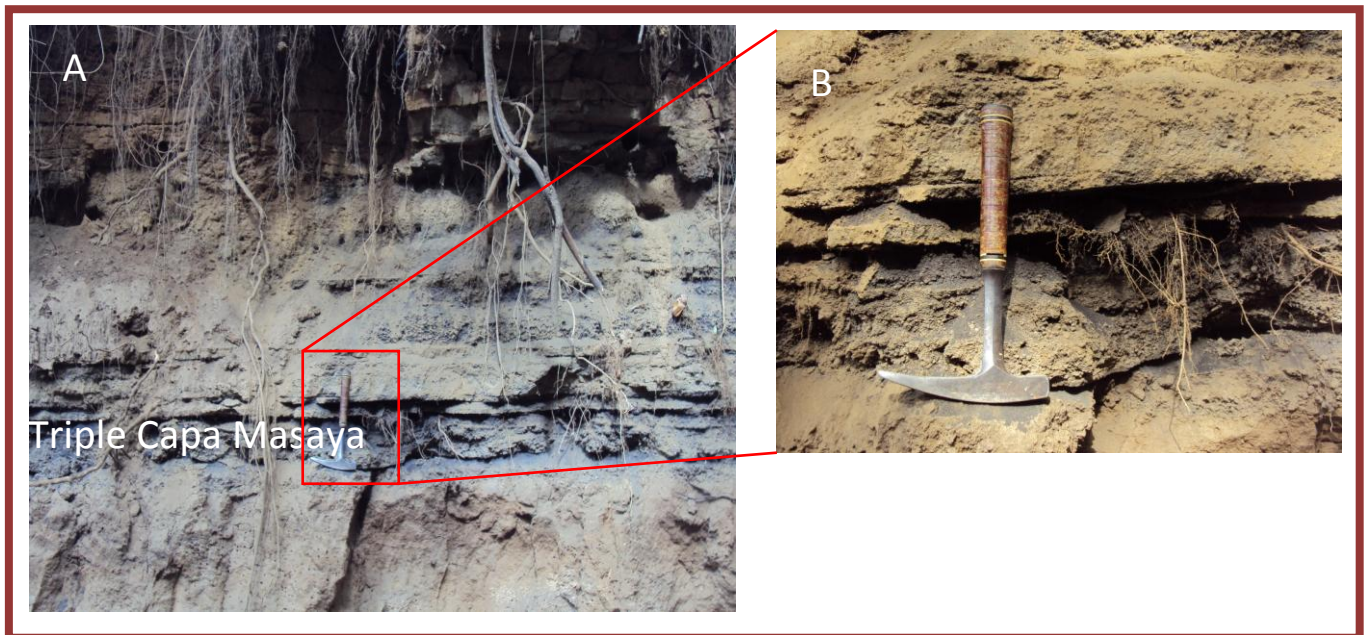


Foto.11. A). Afloramiento de Triple Capa Masaya; ubicado en la localidad de Santo Domingo. Coordenadas: 1336999N-580246E. B). Detalle de la Triple Capa Masaya.

4.2.3.5. Unidad Toba Masaya

Esta unidad consiste en un depósito de oleadas piroclásticas ricas en estructuras internas de antidunas; que corresponde a una de las erupciones más jóvenes registradas en la Caldera Masaya y que se extiende a más de 35 Km, en forma radial de dicha caldera. Los espesores de esta unidad se incrementan hacia la ciudad de Masaya. (Bice, D. 1985; Pérez, W and Freundt, A. 2006 y Kutterolf, S et al. 2007).

En esta investigación se encontró aflorando esta unidad en las localidades de Cofradía, Las Sierras de Managua y Nindiri; donde se constato que la Toba Masaya se trata de un depósito de ceniza consolidado, el cual posee las siguientes características: partículas con tamaño de ceniza muy fina, color amarillento y en ocasiones de color gris, masivo,



muy compacto y casi siempre aparece en el área de estudio sobreyaciendo un paleosuelo de color amarillo (**Foto.12.A**).

Este depósito de ceniza en la parte interna contiene estructuras de lapilli acrecional (**Foto.12.B**) y en ocasiones se observan estructuras de laminación. Hacia el este del área de estudio, cerca de la localidad Cofradía este depósito se encuentra muy meteorizado y las estructuras de lapilli acrecional, alcanzan tamaños hasta de 4 cm (**Foto12 C**).

En trabajos anteriores realizados por Pérez, W and Freundt, A. (2006) y Kutterolf, S et al (2007) calculan un volumen total de 3.9 Km^3 , para esta unidad.

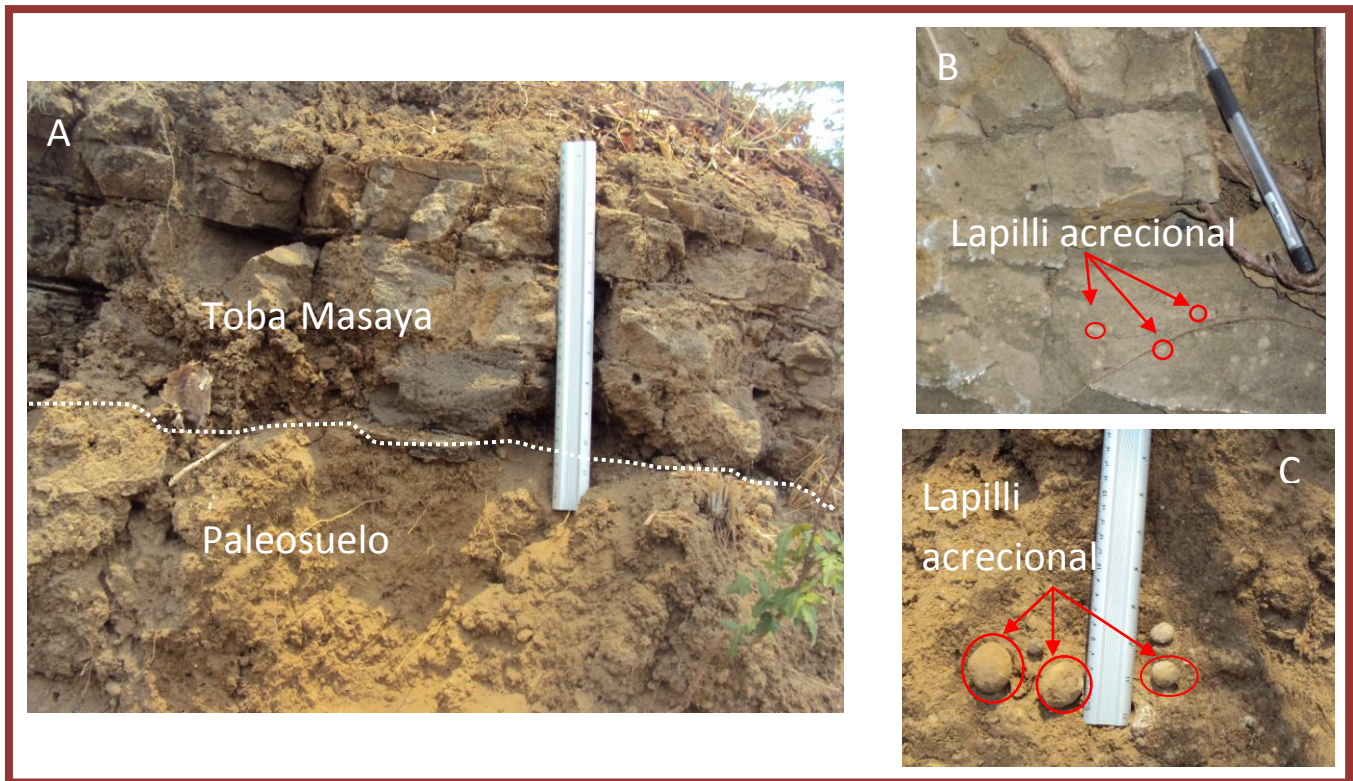


Foto.12. A). Afloramiento de Toba Masaya sobre un paleosuelo en la localidad de Santo Domingo. Coordenadas: 1336999N- 580246E. B). Detalle de las estructuras internas de lapilli acrecional que se encuentran en la Toba Masaya. C). Detalle de los lapilli acrecional con tamaños hasta de 4 cm, encontrados hacia el sur del área de estudio.

La edad de esta unidad no está bien definida ya que en base al método de C^{14} , Bice, D (1985), propone una edad de 3,000 a 6,000 años; sin embargo Kutterolf, S et al (2007),



utilizando el mismo método, calculan una edad $< 2,000$ y recientemente Avellán, D. (2009), mediante el fechamiento de un paleosuelo, reporta una edad de $3,485 \pm 90$; la cual cae dentro del rango de edad estimada por Bice, D. (1885).

4.2.4. Unidad Andesita

Esta unidad está representada por flujos de lavas de composición andesítica; los que se encuentran al norte del área de estudio, anteriormente han sido descritos por Espinoza, F. (2007). Su origen se atribuye a erupciones de tipo efusiva provenientes del volcán Apoyeque, las cuales se emplazaron en las laderas externas de este volcán.

Macroscópicamente (**Foto.13.A**) estos flujos están constituidos por roca ígnea volcánica de composición andesita, color rosado y textura porfídica. Dentro de los minerales que se pueden reconocer a simple vista están, cristales alargados de plagioclasas y hornblendas incrustados en una matriz muy fina.

Microscópicamente (**Foto.13.B**) esta roca tiene textura porfídica y en ocasiones glomeroporfídica. Los fenocristales que principalmente se observan son:

- Plagioclasas: Conforman el 30% de la muestra; estas son de composición media (andesina, labradorita), aparecen de forma subhedrales, en su mayoría se encuentran zonadas y afectadas por saurización.
- Piroxenos: Constituyen el 25% de la muestra; estos se observan con formas prismáticas cortas, de formas subhedrales y muchos de ellos presentan sus bordes corroídos por vidrio volcánico.
- Anfíboles (hornblendas): Conforman el 15 % de la muestra; estos aparecen de formas prismáticas alargadas, subhedrales, algunos se encuentran con sus bordes corroídos por vidrio volcánico y otros afectados por Cloritización.



La matriz de esta roca está compuesta por micrólitos de plagioclasas, que poseen textura pilotaxítica.

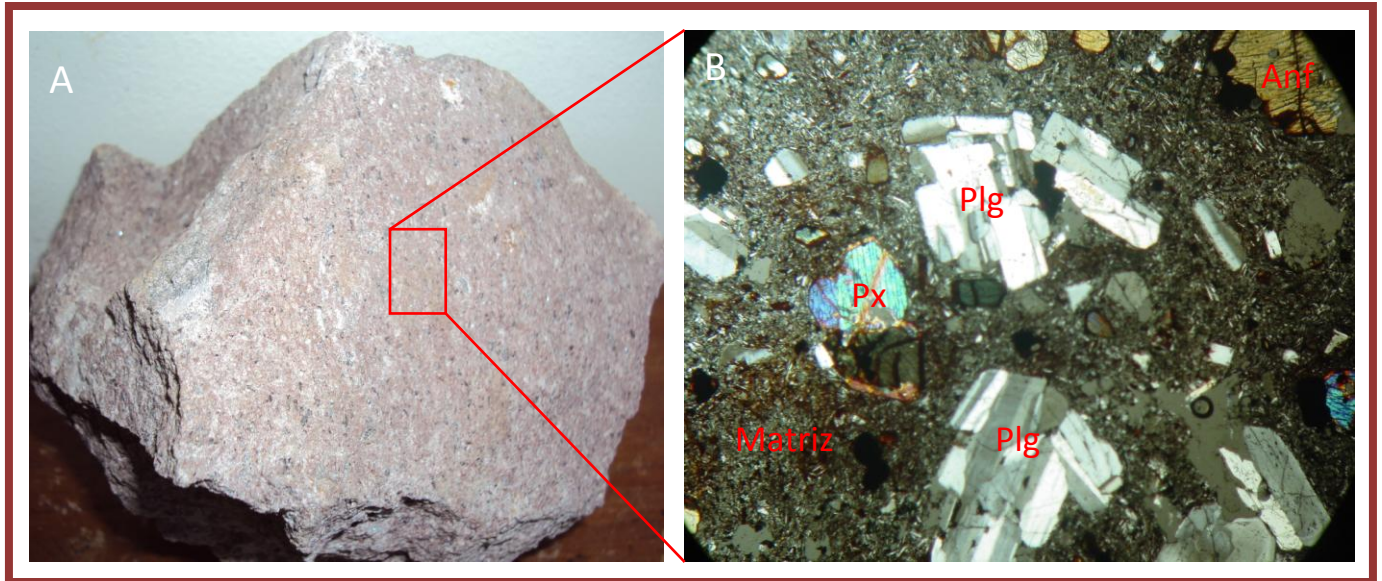


Foto.13. A). Muestra de mano de la unidad andesita, se observa la textura porfídica y en ocasiones glomeroporfídica. Coordenadas: 1354500N- 569300E. B). Sección delgada de la unidad andesita, se observan los principales fenocristales que conforman esta roca. Aumento: 5x.

4.2.5. Unidad de Detritos

Esta unidad se encuentra representada por flujos de detritos, que se encuentran al noroeste y oeste del volcán Apoyeque, antes fueron descritos por Espinoza, F. (2007). Son el resultado de la remoción en masa de los depósitos volcánicos, que se encuentran en las partes más alta del volcán Apoyeque, hacia las partes más bajas, esto como consecuencia de la saturación del suelo por lluvias muy intensas. La característica principal de estos flujos es que son mal clasificados y no presentan estructuras sedimentarias primarias.

Esta unidad consiste en un depósito poco consolidado de color gris oscuro; litológicamente constituido por fragmentos de roca de composición andesítica cuyos



tamaños varían desde 1 cm a 2 m, soportados en una matriz de arcilla y arena; sus dimensiones son aproximadamente de 4 Km de longitud y 3 Km de ancho. La forma de los fragmentos varía de subredondeados a redondeados; lo que indica que han estado sujetos a procesos de transporte, hasta ser depositados en el lugar que hoy se encuentran.

4.2.6. Unidad Basalto

Esta unidad se localiza en la parte sur del área de estudio y se extiende hacia el norte hasta la localidad de Cofradía. Aflora en forma de coladas de lavas (**Foto.14.A**), las cuales fueron originadas por erupciones de tipo efusivas y en algunos casos de tipo fisural, provenientes de la caldera Masaya.

Macroscópicamente esta unidad está constituida por rocas ígneas volcánicas de composición basáltica, de color gris oscuro (**Foto14.B**), textura afanítica y se pueden observar algunas vesículas de desgasificación.

Microscópicamente (**Foto.14.C**), la roca presenta textura oligofírica y los cristales de los cuales principalmente está conformada son:

Fenocristales de plagioclasas (anortita), los que conforman el 1% de la muestra y se observan con aspecto alotriomórfico.

Microcristales de piroxenos, los que constituyen el 30% de la muestra y aparecen con aspecto alotriomórfico y sus bordes corroídos por minerales metálicos.

Minerales metálicos, que conforman el 5 % de la muestra y se encuentran distribuidos por toda la muestra de manera irregular.

La matriz de esta roca está compuesta por micrólitos de plagioclasas, los cuales presentan sus bordes corroídos y poseen textura intersertal.



Foto.14. A). Afloramiento de unidad Basalto, en forma de colada de lava. Coordenadas: 1326573N- 596029E. B). Detalle de la textura de la unidad basalto; se pueden observar algunas vesículas de desgasificación. C). vista en sección delgada de la unidad basalto; se observan algunos microcristales de piroxeno y los micrólitos que conforman la matriz.

4.2.7. Unidad Aluvial.

Esta unidad tiene una amplia distribución dentro del Graben de Managua. Corresponde a depósitos volcanosedimentarios que han sido transportados desde las partes con mayores pendientes del área de estudio y depositados en las zonas más bajas, ya sea a través de mecanismo de arrastre o por medio de gravedad.



Estos depósitos están constituidos por fragmentos de todas las unidades antes descritas que se encuentra en las partes con mayores elevaciones topográficas, las principales características de estos es que son heterolitológicos, mal clasificado, impermeables y no porosos debido al alto contenido de lodo en la matriz.

El espesor de esta unidad va desde centímetros en las partes cercanas a las pendientes hasta aproximadamente 5 m en las zonas más bajas; encontrándose los afloramientos con mayores espesores en las cercanías del lago de Managua.

[illegible]



CAPITULO V

5. Geomorfología del Graben de Managua y sus alrededores

El Graben de Managua se localiza dentro de La Depresión Nicaragüense, la cual se extiende desde la frontera con Costa Rica al Sur, hasta el Golfo de Fonseca al Norte y se caracteriza por presentar relieve suave a moderado.

La morfología del área de estudio está representada por diversas estructuras volcánicas relativamente jóvenes como: calderas, conos de escoria, cráteres de explosión, anillos de toba, domos y maares. En base al análisis de las fotografías aéreas del área de estudio; editadas por INETER en 1996 (escala 1:40,000), mapa topográfico, mapa de relieve sombreado y mapa de pendientes; en conjunto con el análisis de las geoformas durante el trabajo de campo, se elaboró el mapa geomorfológico del Graben de Managua y sus alrededores (**Fig.6**).

Tomando como base los criterios para la clasificación geomorfología propuestos por Van Zuidam.(1986), se clasificaron 4 unidades geomorfológicas con sus respectivas Subunidades:

1. Unidad de Colinas Denudacionales (D₂)
2. Unidad de Origen Estructural Denudacional (S)
 - Sub-unidad de Domo (S₁₀)
 - Sub-unidad de Escarpe de Falla (S₁₂)
3. Unidad de Origen Volcánico (V)
 - Sub-unidad de Maar (V_{1a})
 - Sub-unidad de Cráter de Explosión (V_{1b})
 - Sub-unidad de Conos de Escoria (V_{2a})
 - Sub-unidad de Anillo de Toba (V_{2b})



- Sub-unidad de flujos de Lava (V₉)
- Sub-unidad de Caldera (V₁₄)

4. Unidad de Llanuras Aluviales (F₃)

5.1.1. Unidad de Colinas Denudacionales (D₂)

En esta investigación se identificó que esta unidad en el Graben de Managua, es el resultado de la acción de diferentes procesos denudativos, que actúan sobre las rocas que se encuentran en las partes más altas del área de estudio, las cuales corresponden principalmente a rocas de tipo ignimbríticas, depósitos de caída y flujos de lavas. La morfología característica de esta unidad son cerros con pendientes moderadamente escarpadas y con poca vegetación, lo que los hace muy susceptibles a la erosión.

Esta unidad cubre aproximadamente el 30% del área de estudio, se localiza en la parte norte, sur y oeste del mapa geomorfológico del Graben de Managua (**Fig.6**). Se encuentra en contacto con las sub-unidades de llanuras aluviales, escarpe de falla, conos de escoria, maar, domos y flujos de lava.

El relieve de esta unidad está constituido por cerros erosionados, con laderas que varían de inclinadas a moderadamente escarpadas (**Foto.15**); el valor de las pendientes oscila entre 15°- 45° aproximadamente. La topografía es montañosa con curvas de nivel continuas y elevaciones que van desde 300 a 720 m.s.n.m.

Litológicamente esta unidad se encuentra constituida en la parte oeste y sur por rocas ignimbríticas pertenecientes a la Formación Las Sierras y depósitos piroclásticos de la Formación Managua; y en la parte norte por rocas ígneas volcánicas de composición andesítica, que han sido originadas por erupciones tipo efusivas provenientes del volcán Apoyeque. Estas rocas tienen edades que van desde el Terciario hasta el Cuaternario.



El patrón de drenaje de esta sub-unidad es de tipo dentrítico, el cual está controlado por la topografía del área de estudio.



Foto.15. Unidad de Colinas denudacionales. Se observa la poca vegetación que tienen estos cerros.

El origen de la sub-unidad está directamente relacionado a esfuerzos de compresión y extensión a los que se encuentra sometida el área de estudio, como consecuencia del proceso de subducción que se da entre la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe; y su forma actual está ligada a los diferentes procesos de erosión, tanto natural como antrópica. La zona más afectada por la erosión se encuentra en la Península de Chiltepe, ubicada en la parte norte del área de estudio, donde el estado denudacional de los cerros es extremo, a consecuencia de que estos terrenos son utilizados para la ganadería.



5.2. Unidad de Origen Estructural Denudacional (S)

En esta investigación se determinó que esta unidad está relacionada a las geoformas que se originan por la interacción de procesos físicos y mecánicos como: erosión, depositación y diastrofismo; generados a lo largo de fallas geológicas activas que se localizan en las partes con mayores alturas del Graben de Managua. Esta unidad cubre aproximadamente el 16% del área de estudio y su principal característica es la morfología en forma de cerros con pendientes escarpadas y cerros en forma de cúpulas.

5.2.1. Sub-unidad de Domo (S₁₀)

Esta sub-unidad cubre aproximadamente el 1% del área de estudio, se localiza en la Península de Chiltepe, la cual se ubica en la parte norte del mapa geomorfológico del Graben de Managua (**Fig.6**). Se encuentra en contacto con la sub-unidad de Colinas Denudacionales.

El relieve característico de esta sub-unidad en el área de estudio son cerros en forma de cúpulas sub-redondeadas (**Foto.16**); con laderas que van de moderadamente escarpadas a escarpadas y rangos de pendientes que varían entre 15°- 65° aproximadamente. La topografía es moderada a abrupta, con curvas de nivel muy continuas y elevaciones que oscilan entre 160 a 500 m.s.n.m. La litología de estos cerros corresponde a rocas ígneas volcánicas de composición dacítica.

El patrón de drenaje de esta sub-unidad es paralelo, a consecuencia de las altas pendientes y la existencia de estructuras geológicas lineales como son: fallas y fracturas.

El origen de esta sub-unidad en el área de estudio, se da por el ascenso hacia la superficie de flujos de magma muy viscosos, a través de zonas de debilidad en la corteza terrestre; estos flujos debido a su alta viscosidad no pueden fluir muy lejos de la



chimenea volcánica antes de solidificarse, por lo que forman un montículo aproximadamente circular.



Foto.16. Sub-unidad de Domo, ubicado en la Península de Chiltepe. Se observa en la fotografía la forma características que presentan estos cerros.

Las rocas que conforman esta sub-unidad son atribuidas al intenso vulcanismo de edad cuaternaria que ha ocurrido en el área de estudio, relacionado al proceso de subducción que se da entre la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe; como consecuencia del tectonismo que afecta toda la región Centroamericana.

5.2.2. Sub-unidad de Escarpe de Falla (S₁₂)

Esta sub-unidad cubre aproximadamente el 15% del área de estudio, se encuentra al este, oeste y sur, del mapa geomorfológico del Graben de Managua (**Fig.6**). Aparece en contacto con la unidad de colinas Denudacionales y la unidad de llanuras aluviales. Dentro del Graben de Managua el relieve de esta sub-unidad se caracteriza por la presencia de dos tipos de geoformas distintas:



En la parte sur y oeste del área de estudio se observan cerros que están basculados hacia el norte y este respectivamente. Las laderas de estos cerros son escarpadas y los rangos de pendientes oscilan entre 45° - 60° aproximadamente (**Foto.17**). La topografía es montañosa por lo que las curvas de nivel se observan muy continuas y las elevaciones tienen valores que van desde 320 a 920 m.s.n.m.

En la parte este del área de estudio el relieve se observa en forma de colinas alargadas, de poca elevación, las cuales se encuentran basculadas hacia el oeste; sus laderas son moderadamente inclinadas y las pendientes varían entre 0° - 30° . La topografía es irregular con curvas de nivel distanciadas y las elevaciones tienen valores desde 40 a 200 m.s.n.m.

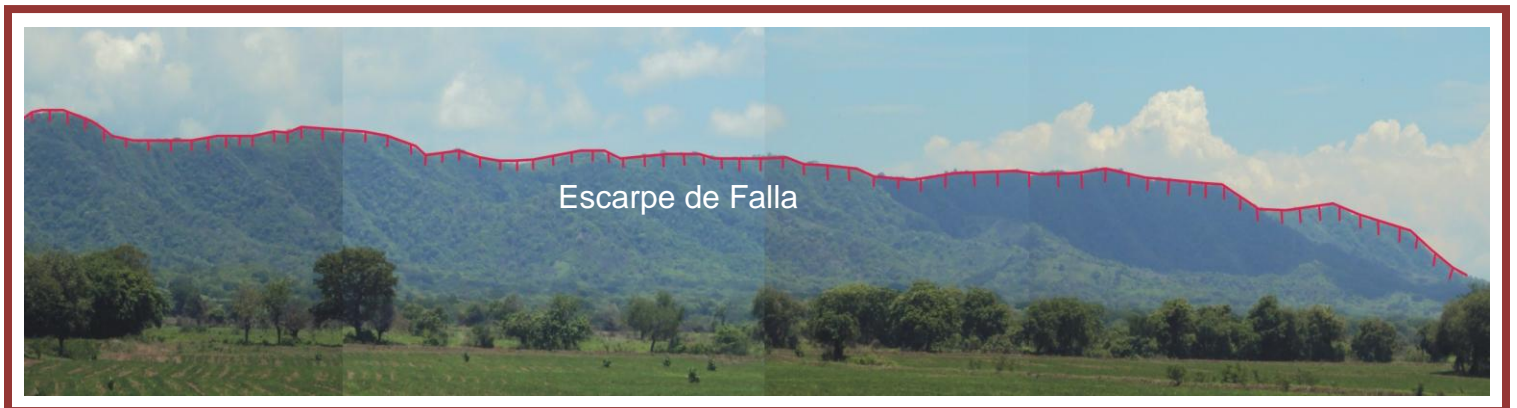


Foto.17. Sub-unidad de Escarpe de falla. Se observan los cerros escarpados, con pendientes altas que caracterizan la parte sur y oeste del área de estudio.

La litología de esta sub-unidad está constituida por ignimbritas soldadas pertenecientes al Grupo Las Sierras; depósitos volcánicos que corresponden al Grupo Managua y depósitos aluviales. La edad de estas rocas va desde el terciario tardío hasta el cuaternario.

El patrón de drenaje de esta sub-unidad es de tipo dentrítico; el cual en el área de estudio se forma directamente por escorrentía y está controlado por el tipo de litología en combinación con la topografía del terreno.



El origen de esta sub-unidad es producto de los esfuerzos de compresión y extensión a los que se encuentra expuesta el área de estudio, como consecuencia de la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe, asociada a la tectónica de placas Centroamericana.

5.3. Unidad de Origen Volcánico (V)

En esta investigación se definió que el origen de esta unidad en el Graben de Managua está relacionado a los diferentes eventos eruptivos que tuvieron lugar durante la intensa actividad volcánica, de edad cuaternaria que ha afectado el área de estudio. Esta unidad cubre aproximadamente el 33% del área de estudio y se caracteriza por la variedad de las geoformas que la constituyen, las cuales van desde cerros con pendientes escarpadas hasta depresiones profundas. La combinación de los procesos de meteorización y erosión en sus diferentes facetas, son los responsables de la forma actual que la mayoría de estas geoformas presentan.

5.3.1. Sub-unidad de Maar (V_{1a})

Esta sub-unidad cubre aproximadamente el 5% del área de estudio, se localiza en principalmente en la parte central y en menor proporción en la parte norte y sur del mapa geomorfológico del Graben de Managua (**Fig.6**). Está en contacto con las unidades de llanuras aluviales y colinas denudacionales; y también con las sub-unidades de caldera, y conos de escoria.

El relieve de esta sub-unidad se caracteriza por la presencia de depresiones en forma cónica, las cuales en su mayoría el fondo está ocupado por una laguna de origen volcánico, ejemplo de esto son las lagunas de Asososca, Acahualinca, Nejapa, Masaya, Tiscapa, Xiloá y Apoyeque (**Foto.18**); las laderas de estas depresiones son escarpadas y



los valores de las pendientes varían entre 0°- 60°. La topografía es abrupta con curvas de nivel muy continuas y las elevaciones oscilan entre valores de 40 a 300 m.s.n.m.

Litológicamente esta sub-unidad está constituida por rocas ígneas volcánicas de composición basáltica y andesítica, que han sido generadas durante el intenso vulcanismo de edad Cuaternaria, que ha afectado el área de estudio.

El patrón de drenaje de esta sub-unidad en el área de estudio es casi paralelo, como resultado de la combinación de las altas pendientes, el material litológico del cual está conformada la sub-unidad y la presencia de estructural lineales como fallas geológicas activas y fracturas.



Foto.18. Sub-unidad de Maar. Se observa en la foto que el fondo de la depresión está ocupado por una laguna de origen volcánico, denominada como Asososca.

El origen de esta sub-unidad es atribuido a erupciones volcánicas violentas, en las cuales el agua subterránea se combinó con el magma y como consecuencia se formó un cráter volcánico ancho, rodeado de una cresta de material no consolidado.



5.3.2. Sub-unidad de Cráter de Explosión (V_{1b})

Esta sub-unidad cubre aproximadamente el 1% del área de estudio, se ubica dentro de la Caldera Masaya; se localiza en la parte sur del mapa geomorfológico del Graben de Managua (**Fig.6**). Aparece en contacto con la sub-unidad de caldera.

El relieve de esta sub-unidad se observa en forma de depresiones casi circulares (**Foto.19**), sin ningún tipo de vegetación, laderas muy escarpadas y pendientes con valores que oscilan entre 15° - 60° aproximadamente. La topografía es abrupta con curvas de nivel continuas y elevaciones con rangos de valores que van desde 360 a 560 m.s.n.m.



Foto.19. Se observa el cráter de explosión Santiago, ubicado dentro de la Caldera Masaya; se caracteriza por su forma circular y las fuertes pendientes que presenta esta sub-unidad.

El material litológico que conforma esta sub-unidad corresponde a rocas ígneas volcánicas de composición basáltica, las que han sido generadas durante el intenso vulcanismo de edad Cuaternaria hasta el Reciente, al que está expuesta el área de estudio.

El patrón de drenaje que posee esta sub-unidad es de tipo lineal, a consecuencia de las altas pendientes que tienen estos cráteres; el patrón de drenaje se encuentra controlado por sistemas de fallas geológicas activas, que afectan la zona.



El origen de esta sub-unidad es producto de explosiones volcánicas muy violentas, que se han dado en el área de estudio, las cuales están asociadas a la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe; a consecuencia de la tectónica de placas que afecta a Centro América.

5.3.3. Sub-unidad de Conos de Escoria (V2a)

Esta sub-unidad cubre aproximadamente el 8% del área de estudio, se localiza en la parte central, norte, este y sur del mapa geomorfológico del Graben de Managua (**Fig.6**). Se encuentra en contacto con las unidades de llanuras aluviales, colinas denudacionales y las sub-unidades maar, anillos de toba y caldera.

El relieve de esta sub-unidad se caracteriza por observarse en forma de cerros aislados con poca vegetación, laderas escarpadas y valores de pendientes que oscilan entre 45°-65° aproximadamente. La topografía varía de moderada a abrupta con curvas de nivel continuas y elevaciones con rangos de valores desde 100 a 400 m.s.n.m. Muchas de estas estructuras actualmente sirven para la extracción de material selecto, el cual es utilizado en la industria de la construcción, por lo que su forma original ha sido modificada (**Foto.20**).

Litológicamente esta sub-unidad está constituida por fragmentos de escorias, con tamaños que van desde milimétricos hasta bloques, los cuales son de composición basáltica y colores que varían de rojizo a gris oscuro. Estas rocas han sido generadas durante el intenso vulcanismo de edad Cuaternaria, que ha afectado el área de estudio.

El patrón de drenaje que posee esta sub-unidad es de tipo lineal, el cual está controlado por la inclinación de las pendientes y el tipo de litología que conforman estos cerros.

El origen de esta sub-unidad en el área de estudio es atribuido a dos maneras; una que es mediante erupciones de tipo fisural a lo largo de estructuras lineales locales como



fallas geológicas activas, que han sido generadas a consecuencia de los esfuerzos de tensión y compresión, asociadas a la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe y otra manera que es mediante depósitos de caída de fragmentos tamaño lapilli, los cuales se acumulan viento abajo y alrededor de las chimeneas volcánicas durante la actividad eruptiva.



Foto.20. Sub-unidad de conos de escoria. Se observa en la fotografía el cono de escoria Apoyeque; en el cual se observa la forma característica que estos cerros han adquirido, producto de la extracción de material selecto.

5.3.4. Sub-unidad de Anillo de Toba (V2b)

Esta sub-unidad cubre aproximadamente el 3% del área de estudio, se localiza en la parte central del mapa geomorfológico del Graben de Managua (**Fig.6**). Aparece en contacto con las unidades de llanuras aluviales y la sub-unidad de conos de escoria.

El relieve de esta sub-unidad se caracteriza por observarse en forma de cerros alargados de poca y en ocasiones ninguna vegetación, laderas moderadamente escarpadas y



pendientes que oscilan entre 0°- 30° aproximadamente. La topografía es moderada, las curvas de nivel se observan distanciadas y elevaciones tienen valores de 60 y 220 msnm. El material litológico del que está compuesta esta sub-unidad corresponde a cenizas volcánicas y lapilli medio de composición basáltica, que han sido generadas durante el intenso vulcanismo Cuaternario que ha afectado el área de estudio.

El patrón de drenaje de esta sub-unidad en el área de estudio es de tipo lineal, el cual se encuentra controlado por el tipo de litología y la baja cobertura vegetal que la constituyen. El origen de esta sub-unidad está relacionado a erupciones volcánicas de tipo hidromagmáticas de alta energía, en las que se genera oleadas basales que al detenerse forman depósitos anulares que enmarcan la depresión explosiva. Estas erupciones se dan a consecuencia del ambiente volcánico activo que existe en el área de estudio; y que se encuentra mejor representado en la parte central del mapa geomorfológico del Graben de Managua (**Fig.6**).

5.3.5. Sub-unidad de flujos de Lava (V9)

Esta sub-unidad de flujos de lava (**Foto.21**), cubre aproximadamente el 8% del área de estudio, se localiza al este y norte del mapa geomorfológico del Graben de Managua (**Fig.6**). Está en contacto con las sub-unidades de llanuras aluviales, caldera y colinas denudacionales.

El relieve de esta sub-unidad se observa en forma de lenguas, con laderas suaves y valores de pendientes entre 0° - 30° aproximadamente. La topografía varía de ondulada a casi plana, las curvas de nivel se observan discontinuas y las elevaciones tienen rangos de valores que van desde 80 a 260 m.s.n.m.

Litológicamente esta sub-unidad en el área de estudio está constituida por rocas ígneas volcánicas, cuya composición varía de basáltica en la parte este a andesíticas para la



parte norte. Estas rocas han sido generadas durante el vulcanismo de edad Cuaternaria que ha afectado el área.



Foto.21. Sub-unidad de Flujo de lava. Afloramiento localizado en la localidad de Cofradía, (coordenadas: 1338415N – 594415E).

Dentro del área de estudio el patrón de drenaje que se observa en esta sub-unidad es de tipo dendrítico, el cual está formado principalmente por escorrentía y controlado por el tipo de litología en conjunto con las bajas pendientes que posee esta sub-unidad.

El origen de estos flujos de lava en el área de estudio es atribuido a erupciones de tipo efusivas, las cuales fluyen a favor de la pendiente hasta enfriarse y solidificarse, provenientes de las estructuras volcánicas de Apoyeque y Masaya.



5.3.6. *Sub-unidad de Caldera (V₁₄)*

Esta sub-unidad cubre aproximadamente el 8% del área de estudio, se localiza al sur del mapa geomorfológico del Graben de Managua (**Fig.6**). Se encuentra en contacto las unidades de llanuras aluviales, flujos de lava, conos de escoria, maar y cráter de explosión.

El relieve de esta sub-unidad se caracteriza por observarse en forma de una depresión circular que alberga estructuras de cráteres de explosión y conos de escoria (**Foto.22**); las laderas de esta depresión son moderadas, con pendientes que tienen valores de 0° - 45° aproximadamente. La topografía varía de irregular a abrupta, las curvas de nivel se observan distanciadas y en ocasiones muy continuas; los rangos de elevaciones oscilan de 280 a 520 msnm.

El material litológico del que está constituida esta sub-unidad son rocas ígneas volcánicas de composición basáltica, las cuales son atribuidas a la intensa actividad volcánica que tuvo lugar en el área de estudio durante el periodo Cuaternario.

El patrón de drenaje de esta sub-unidad en el área de estudio está en función del valor de las pendientes; por lo tanto hacia el oeste de la sub-unidad donde las pendientes son abruptas el patrón de drenaje es paralelo y hacia el norte de la sub-unidad donde las pendientes son moderadas el patrón de drenaje cambia a dentrítico. Sin embargo los dos patrones de drenaje están controlados por el tipo de material litológico del que está formada la sub-unidad.

El origen de esta sub-unidad es atribuido al hundimiento de una cámara magmática luego de una explosión volcánica muy violenta, ocasionada por el ambiente volcánico activo al que se encuentra expuesta el área de estudio, asociado al proceso de subducción que ocurre entre la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe.

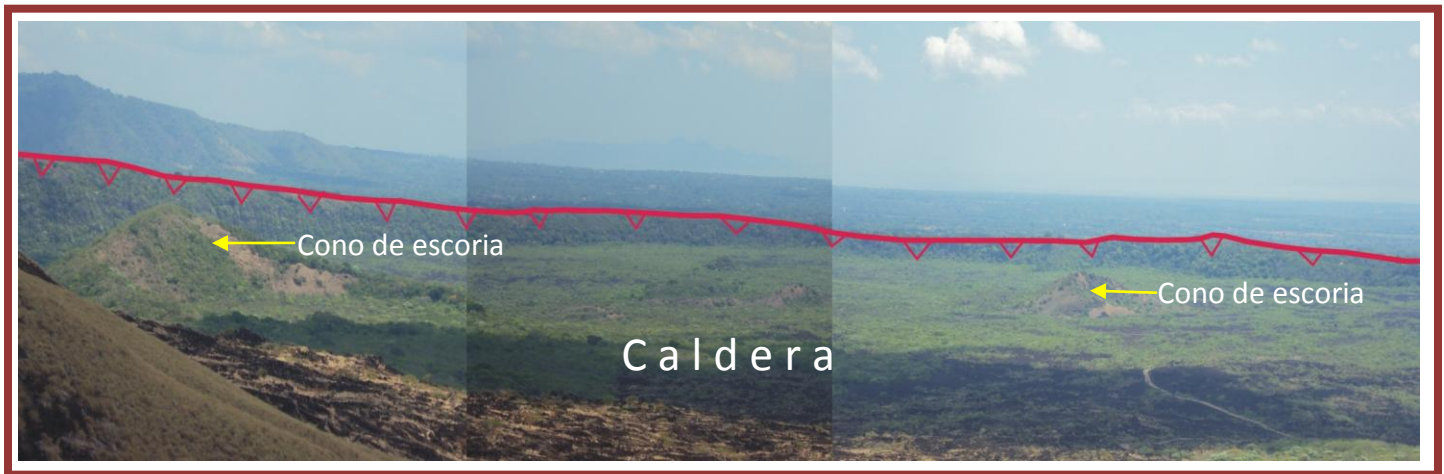


Foto.22. Sub-unidad Caldera. Se observa en la fotografía la forma casi circular que caracteriza a esta sub-unidad y dos conos de escorias que se encuentran dentro de ella.

5.4. Unidad de Llanuras Aluviales (F₃)

Esta unidad ocupa gran parte del Graben de Managua, se encuentra principalmente en las zonas con menores pendientes topográficas. Su origen es el resultado del proceso de transporte, producido principalmente por el agua en forma de escorrentía sobre el material litológico procedente de las partes más altas del área de estudio, para su posterior depositación y consolidación en las partes más bajas. La principal característica de esta unidad es el relieve que se observa casi plano.

Esta unidad cubre aproximadamente el 50% del área de estudio. Se encuentra ampliamente distribuida en todas las direcciones en el mapa geomorfológico del Graben de Managua (**Fig.6**). Aparece en contacto con todas las sub-unidades y unidad antes descritas, excepto la sub-unidad de domo.

El relieve que posee esta unidad en el área de estudio se caracteriza por observarse en forma de llanos, con pendientes suaves que varían entre 0°- 15° aproximadamente. La topografía varía de escasamente irregular a casi plana, con curvas de nivel que se observan bastantes distanciadas y las elevaciones oscilan entre 0 a 300 m.s.n.m.



Litológicamente ésta unidad está constituida por depósitos de sedimentos aluviales que han sido retransportados principalmente por el agua desde las zonas con pendientes más altas del área de estudio hacia las zonas más bajas. El tamaño de los fragmentos que conforman estos depósitos varía desde la arcilla hasta bloques con bordes redondeados **(Foto.23)**.

El drenaje que se observa en esta unidad es de tipo dentrítico y está controlado por las bajas pendientes y el tipo de litología de la que está constituida. El origen de esta unidad es producto del proceso de deposición de materiales aluviales, que se da por medio de escorrentía en las partes más bajas del área de estudio.

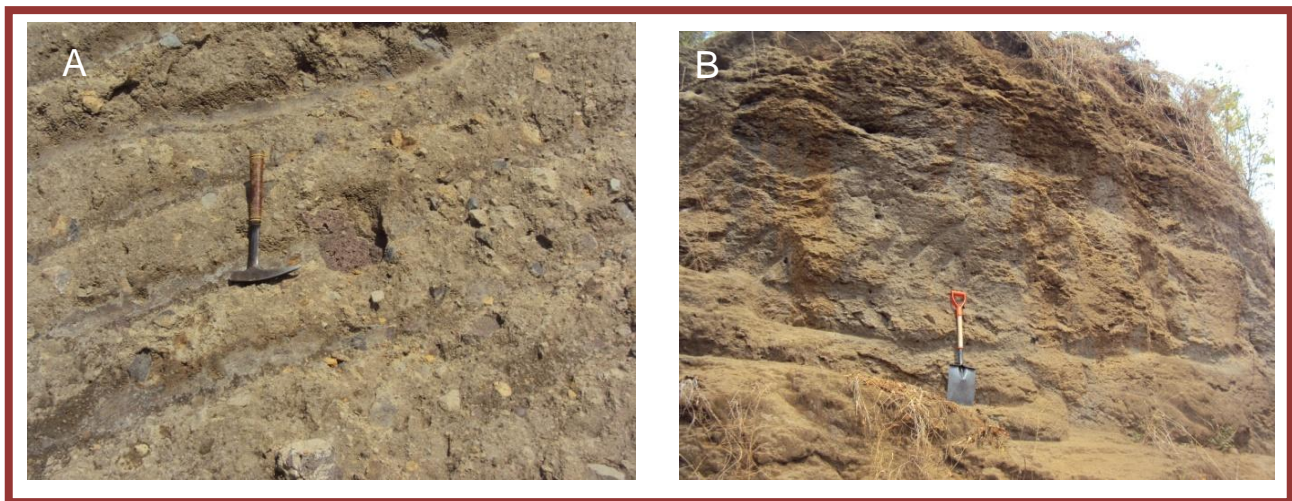
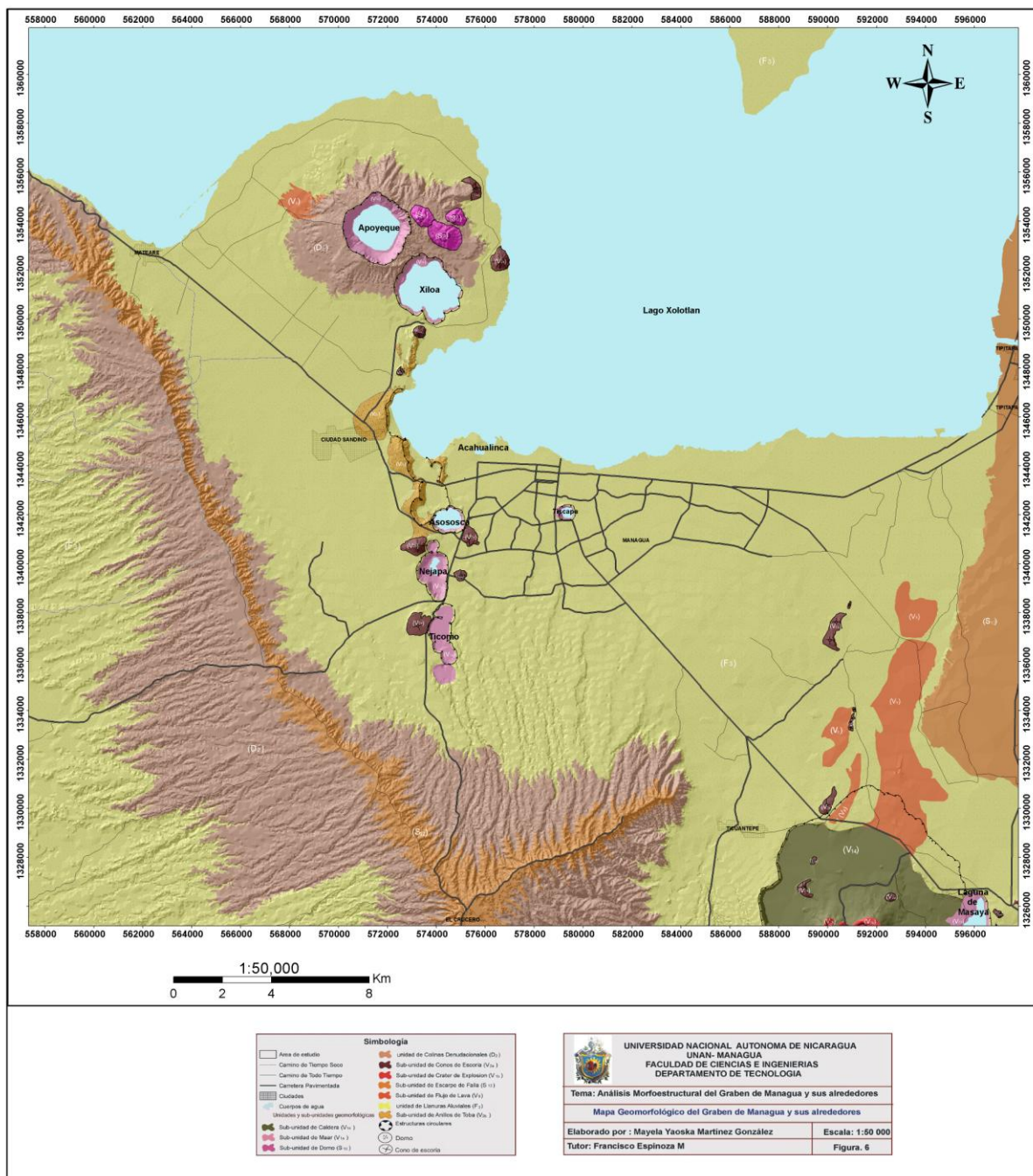


Foto.23. Sub-unidad de Llanuras aluviales. A). se observan fragmentos de rocas de diferentes tamaños, con sus bordes subredondeados dentro de una matriz de lodo. B). se observan depósitos aluviales con fragmentos de tamaño arcilla.





CAPITULO VI

6.1. Geología Estructural del Graben de Managua y sus alrededores

La geología estructural estudia la geometría de las rocas y la posición en que aparecen en superficie. Analiza e interpreta la arquitectura de la corteza terrestre y su relación espacial, determinando las deformaciones que presentan y la geometría subsuperficial de las estructuras rocosas.

La geología estructural del área de estudio se caracteriza por ubicarse en la zona de relevo de la Cadena Volcánica Nicaragüense, que tiene lugar entre el alineamiento del volcán Cosiguina hasta el volcán Apoyeque, al NE y el alineamiento del volcán Masaya hasta el volcán Concepción, al SW. Esta zona de relevo ha sido definida por Mc Birney, A and Williams, H. (1965), como una fosa tectónica y por Frischbutter, A. (2002), como una cuenca pull-apart; con orientación N-S, de tipo extensional y tectónicamente activa, que disloca la Cadena Volcánica Nicaragüense en sentido lateral derecho, con una distancia de 13 km. En este ambiente tectónico activo se generan esfuerzos de compresión y extensión, los cuales en ocasiones exceden la resistencia mecánica del material litológico, produciendo deformaciones permanentes, que dan origen a todas las estructuras geológicas que se encuentran en el área de estudio.

6.1.1. Deformación

Es un concepto puramente geométrico sin significado mecánico. Se define como la suma de cambios o modificaciones de la geometría de un cuerpo rocoso, a partir de una geometría inicial, como respuesta a un esfuerzo aplicado.

Los procesos que generan deformación son:

- Traslación de cuerpo rígido
- Rotación de cuerpo rígido



- Distorsión
- Cambios de volumen

Las rocas de la corteza terrestre se encuentran bajo la acción de diferentes tipos de esfuerzos, cuando estos esfuerzos sobrepasan la resistencia mecánica de las rocas se produce la deformación a través de zonas más o menos tabulares y con límites estructurales. El mecanismo de deformación, del material rocoso puede ser dúctil o frágil, en dependencia de la composición química, contenido de agua, temperatura y presión confinante de la roca. Tolson, G. (1996).

Existen diferentes pruebas de laboratorio en las que se pueden obtener la relación esfuerzo-deformación. Una de estas pruebas es la de compresión uniaxial realizada sobre especímenes cilíndricos de roca, la que consiste en aplicar un esfuerzo axial o de compresión que corresponde con σ_1 , la presión de confinamiento de la prueba tiene la misma magnitud y corresponde con los valores de σ_2 y σ_3 . González de Vallejo, L. (2002). Esta prueba proporciona datos de esfuerzo y deformación que se representa en graficas para obtener la curva de esfuerzo-deformación cuyo comportamiento depende de las características de la roca. **(Fig.7.)**

Las rocas son deformadas frágilmente en los niveles superiores de la corteza terrestre y dúctilmente en los niveles inferiores. La profundidad a la que la deformación pasa de frágil a dúctil es conocida como transición dúctil-frágil y generalmente se encuentra de 10 a 15 Km bajo la superficie. Sibson, R.H. (1990).

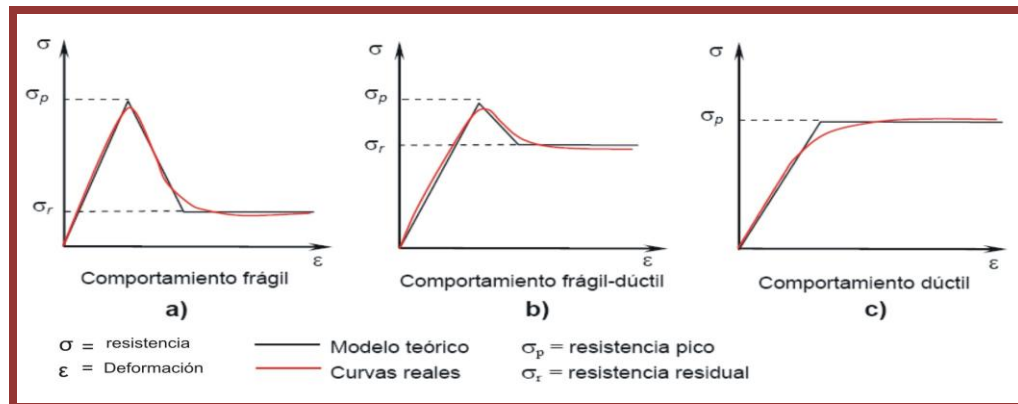


Figura.7. Graficas de resistencia - deformación y los tipos de comportamiento de las rocas (Tomado de González de Vallejo, 2002).

6.1.2. Criterios de Cizalla

Se define como zona de cizalla a una estructura ancha de deformación, generada bajo condiciones dúctiles a dúctiles-frágiles. Las dimensiones de las zonas de cizalla pueden ser de carácter local o regional. (Fig.8)

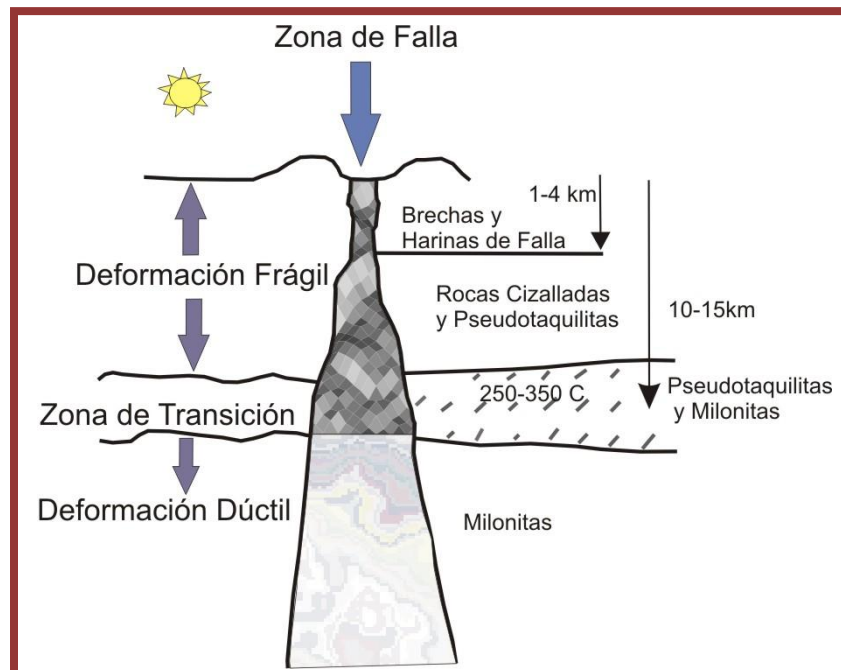


Figura.8. Distribución de diferentes tipos de rocas en zonas de fallas con respecto a la profundidad en la corteza terrestre. Cataclastitas y Pseudotaquilitas se forman en niveles superiores y los diversos tipos de milonitas se forman a profundidades mayores. Modificado de Passchier et al. (1990); Nicolas. (1987); Passchier & Trouw. (1995).



En esta investigación para llevar a cabo las mediciones estructurales en el campo, se tomaron en cuenta los criterios de cizalla frágil, los cuales ayudan a determinar el sentido del movimiento en zonas de fallas. Según estos criterios la roca es clasificada de acuerdo a la cantidad de matriz, generada durante el proceso de cizalla en tres categorías **(Fig.8)**.

- Brecha o protocataclasita: 10 a 50 % de matriz. Este material fue encontrado en el área de estudio en el lugar conocido como La Cuesta El Plomo; ubicada al norte del área de estudio. Coordenadas: 1343452N – 573324E. **(Foto.24)**
- Microbrecha o cataclasita: 50 a 90 % de matriz
- Ultracataclasita o harina de falla (gouge, jaboncillo o arcilla de falla): > 90% de matriz. Este tipo de material fue encontrado en el área de estudio en las laderas del sendero que conduce hacia la laguna de Masaya, conocido como Las Escaleras de Nindiri. Coordenadas: 1326573N – 596029E.

En esta investigación se aplicó los criterios de cizalla frágil, antes descritos; debido a que el área de estudio presenta las siguientes condiciones:

- La geología del área de estudio es de origen volcánico, que se caracteriza por el tipo de deformación frágil principalmente.
- El área de estudio se encuentra a nivel de la superficie terrestre, en donde los mecanismos de deformación tienden a ser frágil.
- El área de estudio está expuesta a esfuerzos tectónicos de compresión y extensión, que en dependencia del tipo de litología dan lugar a deformaciones frágiles.



Foto.24. Brecha de Falla ubicada en La Cuesta El Plomo, al norte del área de estudio; la cual fue originada a consecuencia de la deformación frágil en las rocas del área de estudio.

Se conocen dos tipos de mecanismos de deformación de estructuras geológicas por cizalla. Tolson, G. (1996). **(Fig.9)**

- Cizalla Simple: La deformación de las estructuras es de manera asimétrica, no coaxial y en sentido rotacional.
- Cizalla Pura: La deformación de las estructuras es simétrica, coaxial y no rotacional.

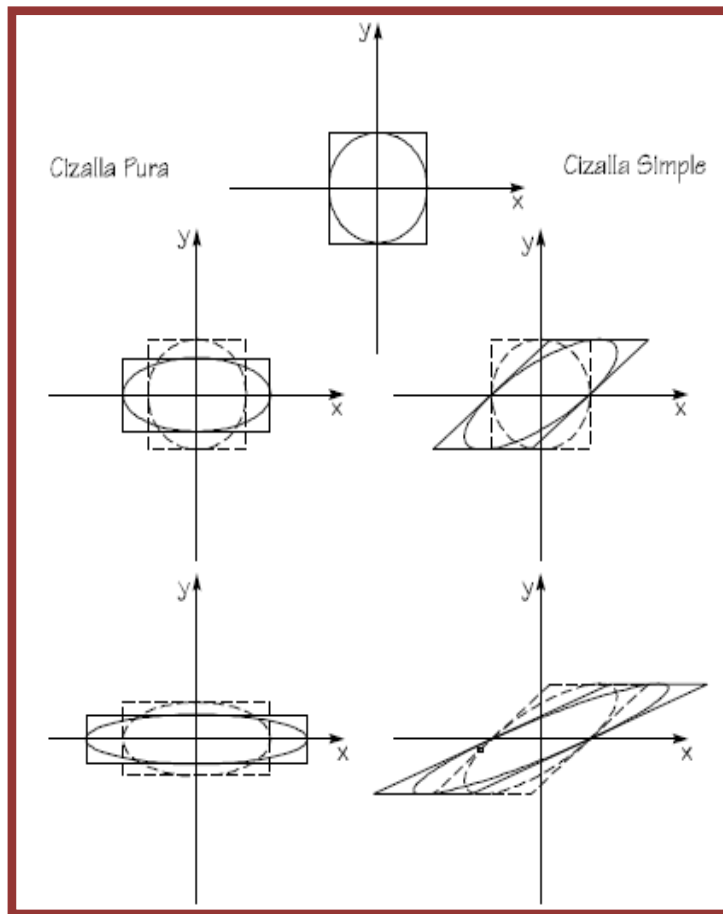


Figura.9. Comparación geométrica de los sistemas de cizalla pura y simple, mostrando la rotación progresiva de la elipse de deformación con cada incremento de cizalla simple. (Tolson, 1996).

6.1.3. Indicadores Cinemáticos

Los criterios de cizalla están basados en los principios básicos del fracturamiento, los cuales son conocidos como indicadores cinemáticos. Estos indicadores son estructuras secundarias formadas durante el fracturamiento de las rocas. Tolson, G. (1996). La formación de estos indicadores está controlada por:

- La presencia y geometría de juntas pre-existentes.
- Propiedades físicas de la roca como: porosidad, composición y propiedades mecánicas.



- Condiciones de esfuerzo y deformación (cantidad de desplazamiento, porcentaje de deformación).

A continuación se describen los principales indicadores cinemáticos y arreglos geométricos que se encontraron durante esta investigación en el Graben de Managua y sus alrededores, los cuales fueron usados para el análisis estructural de la zona:

Sistema de Fallas conjugadas: son fallas contemporáneas que se han formado en condiciones de esfuerzos similares, las cuales se disponen de forma simétrica en relación con los ejes principales de los esfuerzos aplicados. La dirección de deslizamiento en cada falla del sistema conjugado suele ser normal a la línea de intersección de las dos fallas.

Este sistema de fallas fue descrito anteriormente por Espinoza, F. (2007), en el extremo sur del anillo de toba Cerro Partido, el cual se ubica al NW del área de estudio. Durante el levantamiento de campo para este trabajo se constató la existencia de este tipo de sistema fallas en el sitio antes mencionado, donde el material litológico afectado corresponde a oleadas piroclásticas de edad cuaternaria y la dirección de las fallas es N5°E - 80°SE y N10°O – 85°NE. **(Foto.25)**



Foto.25. Sistema de Fallas conjugadas afectando a oleadas piroclásticas, ubicadas en el extremo sur del anillo de toba Cerro Partido, el cual se ubica al NW del área de estudio

Fallas Lístricas: son fallas de tipo normal en las cuales el ángulo del plano de falla cambia de dirección ocasionando movimientos rotacionales en los bloques. Casi siempre se encuentran asociadas a este tipo de fallas indicadores cinemáticos como clastos o sigmoides rotados o geometría de fallas sintéticas y antitéticas, estas últimas son planos de fracturas que van paralelas y en contra respectivamente del plano de falla principal y que forman las estructuras en dominó, los cuales son fragmentos de rocas en forma tabular que se deslizan con respecto a una falla principal. Este tipo de fallas anteriormente fueron descritas por Espinoza, F. (2007), en las cercanías de la semifosa Cuesta El Plomo ubicada al NW del área de estudio, donde aparecen asociadas a pequeñas estructuras en dominó. Durante el levantamiento de campo de este trabajo se confirmó que este tipo de fallas se encuentran en este lugar, afectando a grandes depósitos de oleadas



piroclásticas compactas, de edad cuaternaria; las cuales por la dirección de emplazamiento, se presume que son provenientes del centro volcánico Asososca. La dirección de las fallas es N 5°O - 80°NE. **(Foto.26)**

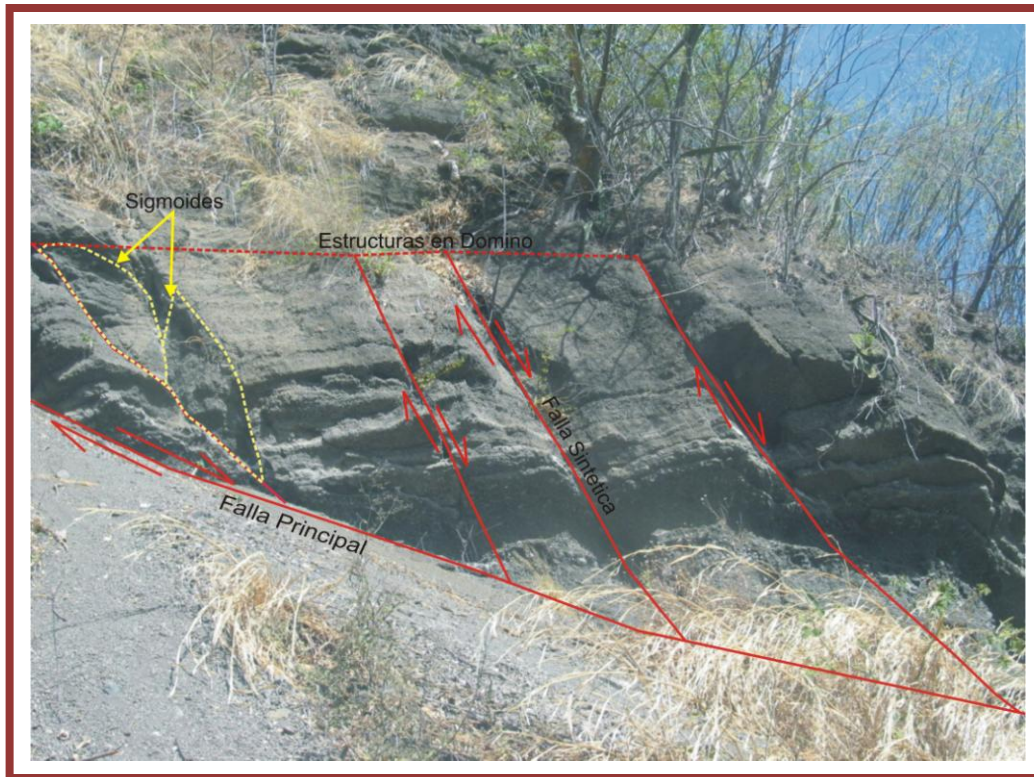


Foto.26. Falla listrica asociada a fallas sintéticas que forman estructuras en dominó, encontrada en las cercanías de La Cuesta El Plomo. También se observan asociados a esta falla dos sigmoides; uno rotado y el otro en posición vertical.

Fracturas secundarias asociadas a fallas: La orientación y el sentido de estas fracturas acusan el sentido de desplazamiento sobre la falla. Las fracturas secundarias pueden ser de cizalla (R y R' así como P) o extensionales (T). **(Fig.10).**

Si R y P se confunden, la interpretación del sentido de cizalla es incorrecta. Las fracturas con el lado cóncavo hacia la dirección de desplazamiento del bloque alto son muy confiables. Tolson, G. (1996)

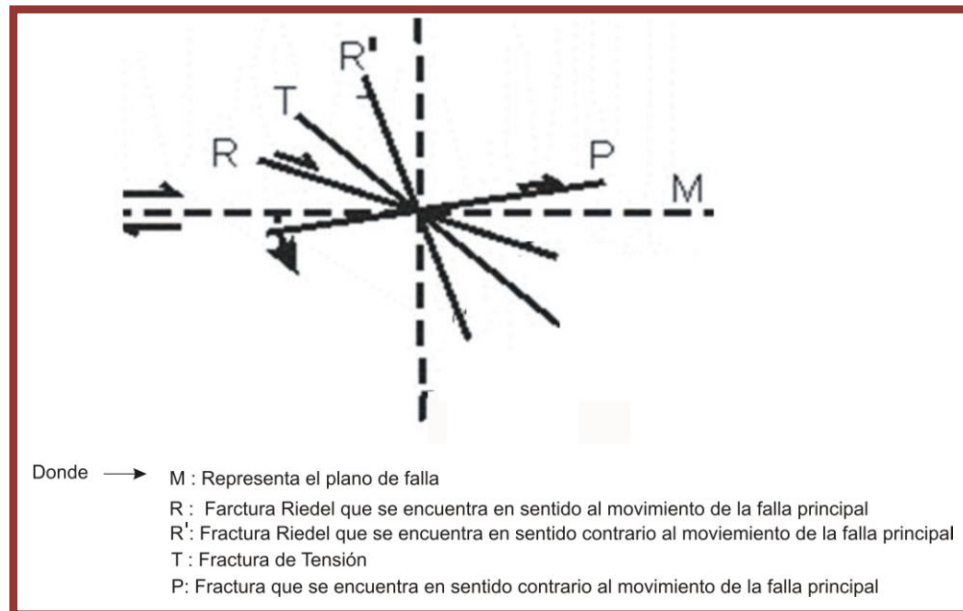


Figura.10. Fracturas secundarias asociadas a fallas, mostrando las relaciones con el sentido de cizalla (Tolson, 1996).

Lentes de deformación o sigmoides: en deformaciones frágiles, durante las fases iniciales de movimiento sobre una zona de falla, las fracturas R y P presentan un arreglo en echelón o escalonadas, debido a que la intersección entre ambos tipos de fracturas forman lentes de cizallamiento o estructuras sigmoides que apuntan en la dirección de cizallamiento. En muchas ocasiones la zona de cizalla está acompañada por un arreglo anastomasado de estructuras sigmoides. García Palomo, A. (2002).

En esta investigación, dichas estructuras sigmoidales se pudieron observar únicamente en algunos afloramientos ubicados en las localidades de Ticomo y Cofradía, debido a que el material litológico del que está constituido el Graben de Managua y sus alrededores corresponde a depósitos piroclásticos y material aluvial, en los cuales es muy difícil poder encontrar este tipo de estructuras. La forma en la que están dispuestos estos sigmoides es vertical y horizontal. **(Foto.27)**

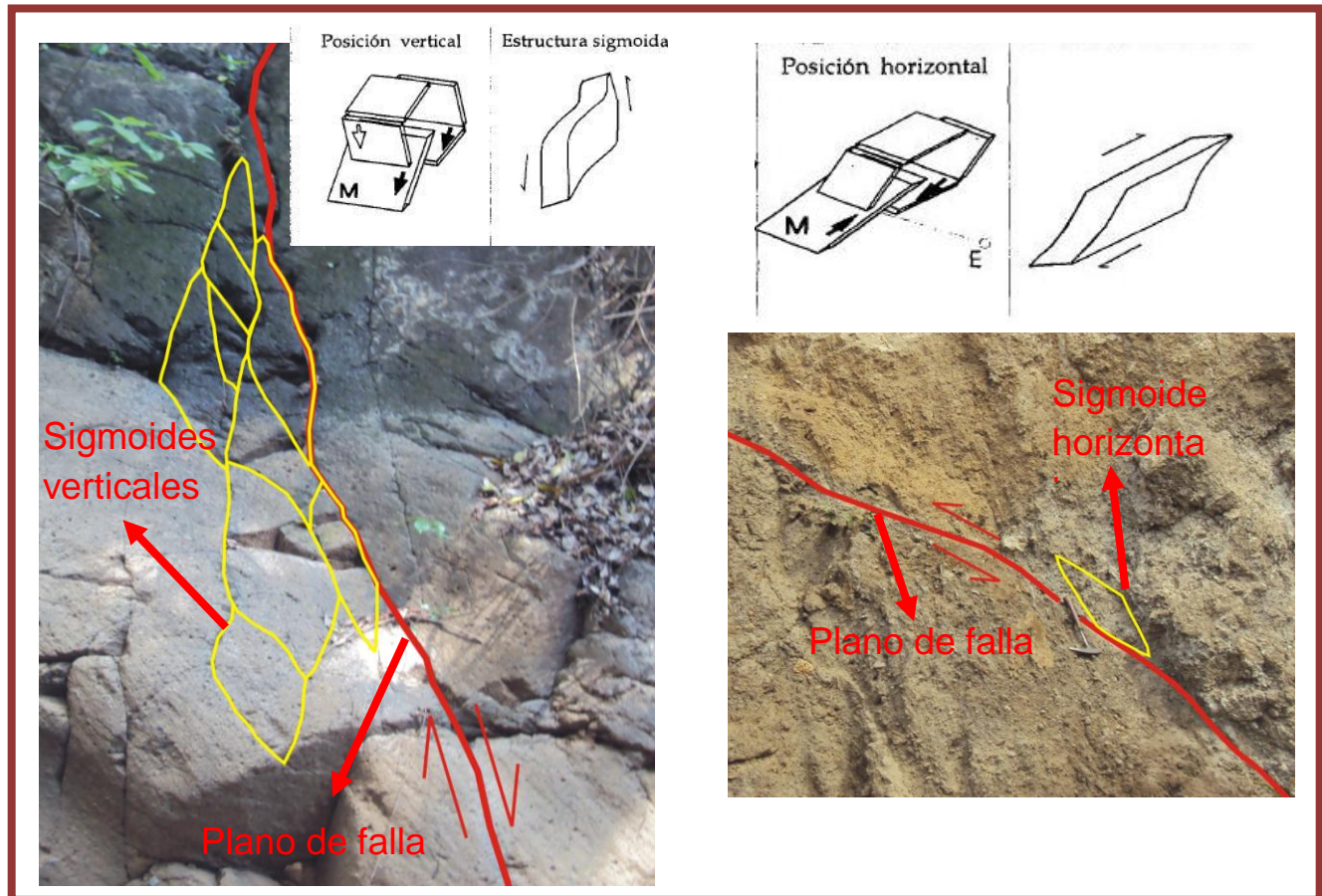


Foto.27. A). Se observan varios sigmoides dispuestos verticalmente, indicando el sentido de desplazamiento normal de una falla, ubicada en Ticomo (Coordenadas: 1335937N-574451E). B). se observa un Sigmoide dispuesto horizontalmente, indicando el sentido de desplazamiento inverso de una falla, ubicada en Cofradía (Coordenadas: 1342067N-596651E).

Zonas de relevo: las fallas con curvaturas o arreglo en echelón, presentan zonas en las que la roca permanece intacta, sin embargo al ser cortadas por una segunda generación de fracturas generan dos tipos de zonas de relevo. (Fig.11). La primera son las zonas de relevo compresivo, las cuales generan estructuras como: estilolitas, clivaje de fracturas, fallas inversas o plegamientos. La segunda son las zonas de relevo tensional, que generan las cuencas pull apart. Gamond, J.F. (1987). En el Graben de Managua este tipo de indicador cinemático se observa de manera regional, ya que las fallas geológicas que



afectan el área de estudio en su mayoría presentan arreglo en échelon, marcando zonas de relevo bien pronunciadas.

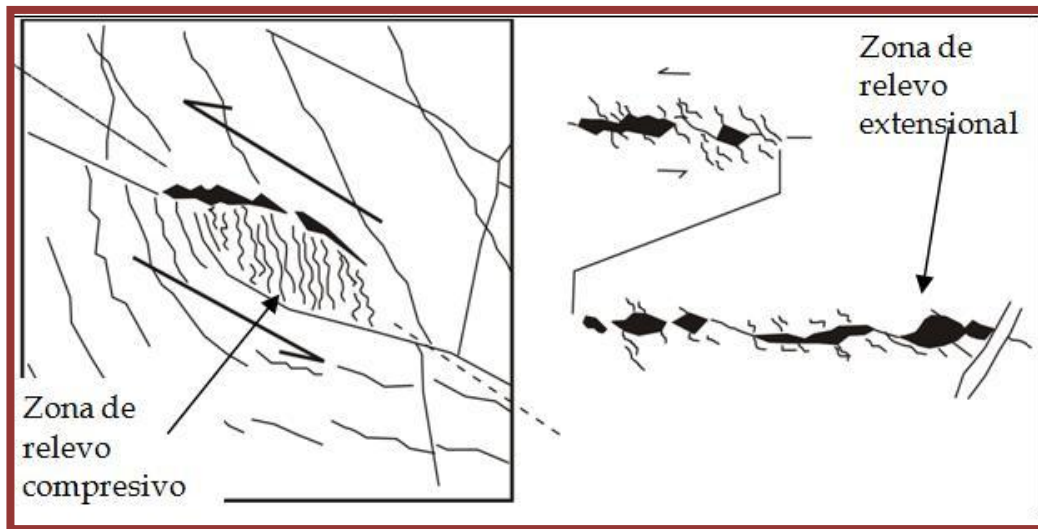


Figura.11. Diagrama en el que se muestran los dos tipos de zonas de relevo. (Gamon, 1987)

6.1.4. Descripción de las Estructuras Geológicas que conforman el Graben de Managua

En esta investigación en base al análisis tridimensional de las estructuras geológicas que constituyen en el Graben de Managua y sus alrededores, se define que este se encuentra dividido en cuatro bloques tectónicos (Mateare, Nejapa, Managua y Cofradía) y un Semi-Graben asimétrico, conocido con el nombre de Aeropuerto. Estos bloques se encuentran distribuidos en forma de escalones neotectónicos y cada uno presenta características particulares. Los primeros tres bloques fueron investigados anteriormente por Espinoza, F. (2007) y en este estudio se investiga por primera vez el bloque Cofradía. También se identificó en el área de estudio dos patrones de fallamiento principales, que atraviesan toda la estructura del Graben de Managua: uno orientado NS y otro con orientación NE-SW. A continuación se hace una descripción de cada uno de estos bloques y del semi-



graben; con la respectiva caracterización de las fallas que se encuentran contenidas en ellos.

6.1.4.1. Bloque Tectónico Mateare

Este bloque constituye el límite oeste del Graben de Managua, se encuentra basculado hacia el oeste y se caracteriza por tener en la parte sur las mayores alturas que se encuentran en el área de estudio, donde alcanzan valores hasta de 920 m.s.n.m. La longitud de este bloque, dentro del área de estudio es de 30 km y su ancho es variable ya que en la parte norte tiene un valor de 5 km y en la parte sur aumenta hasta 12 km; el extremo oeste del bloque está delimitado por la Falla Mateare. Litológicamente está constituido por ignimbritas pertenecientes a la Formación Las Sierras de edad Terciaria, las cuales se encuentran recubiertas por depósitos piroclásticos de caída, pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria, intercalados por suelos fósiles.

6.1.4.1.1. Falla Mateare

Esta falla no ha sido estudiada a detalle, sin embargo autores como Martínez. W. (1994) y Cowan. H, et al (2000), la definen como un segmento de falla de alrededor de 52 km de longitud. En esta investigación se pudo constatar que esta falla consiste en una estructura lineal localizada al oeste, del mapa estructural del Graben de Managua (**Fig.12**), la cual atraviesa toda Las Sierras de Mateare, lugar de donde toma su nombre. Dentro del área de estudio esta falla tiene una longitud de 30 km, la dirección general de su orientación es NW-SE, con buzamiento hacia el este y un salto de aproximadamente 800m, definiendo el límite este del bloque Mateare.

Mediante la interpretación de fotografías aéreas y datos observados en el campo se determinó que la Falla Mateare está constituida por una serie de pequeñas fallas discontinuas que poseen geometría en échelon derecho, la longitud de estos segmentos



varia de 1 a 3.5 km; afectando rocas ignimbríticas que pertenecen a la Formación Las Sierras, de edad Terciaria y depósitos piroclásticos de caída, pertenecientes a las Formaciones Managua y Chiltepe ambas de edad Cuaternaria, que constituyen la litología del bloque Mateare; el extremo norte de esta falla posee terminación bifurcada o cola de caballo.

6.1.4.2. Bloque Tectónico Nejapa

Este bloque se encuentra limitado al oeste por la Falla Mateare, descrita anteriormente; al este por la Falla Nejapa y al sur por la Falla Las Nubes, esta última será descrita dentro del bloque tectónico Managua. En base a la diferencia de alturas se observa que el bloque Nejapa se encuentra basculado hacia el este. Espinoza. F. (2007), define a este bloque con una longitud de 27 km y un ancho de 6 km al sur y 10 km al norte; sin embargo en esta investigación se calculó que la longitud del mismo es de 33 km dentro del área de estudio, el valor del ancho varia de 4 km en la parte sur a 12 km en la parte norte y las alturas tienen valores que van desde 100 hasta 890 m.s.n.m. Según Espinoza. F. (2007) y en base al levantamiento y análisis de campo realizado en esta investigación, se puede afirmar que la característica más importante que posee este bloque, es que en él alberga 25 estructuras volcánicas monogenética (domos, conos de escoria, anillos de toba y maares) y un volcán compuesto (Apoyeque), alineados todos en dirección NS; también dentro de él se encuentra la Fractura Wheelock. Litológicamente el basamento de este bloque está constituido por ignimbritas de la formación Las Sierras de edad Terciaria, las cuales están recubiertas por depósitos piroclásticos de caída de la Formación Managua de edad Cuaternaria.



6.1.4.2.1. Falla Nejapa

McBirney (1955), fue el primero en denominarla con el nombre de falla Nejapa, posteriormente otros autores la han denominado de diferentes maneras por ejemplo; Frischbutter, A. (2002), se refiere a ella como el lineamiento Nejapa-Miraflores y Girard, G and van Wyk de Vries. (2005), la denominan como Falla Nejapa-Miraflores. El estudio más completo realizado en esta falla es el de Espinoza. F. (2007), quien caracterizó su cinemática y geometría, definiendo que esta falla posee una geometría en échelon derecho con zonas de relevo de 0.8 km en la parte sur y 0.9 km en la parte norte; un ángulo de apertura de aproximadamente 20° , con su ápice en la parte sur y la mayor apertura en la parte norte; también define que se encuentra conformada por tres segmentos: norte, central y sur, cada uno de estos generados bajo régimen de esfuerzos diferentes.

En esta investigación se pudo constatar que se trata de una estructura lineal que posee una orientación general N-S y geometría en échelon derecho y además se propone que la Falla Nejapa se prolonga hacia el sur hasta coincidir con el límite sur de la Falla Mateare (**Fig.12**), donde marca el límite este del bloque Nejapa, por lo tanto tiene una longitud de 33 Km dentro del área de estudio. Las rocas que afecta esta falla son ignimbritas de la Formación Las Sierras, de edad Terciaria y depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua y Formación Chiltepe ambas de edad Cuaternaria

6.1.4.2.2. Fractura Wheelock

Esta estructura fue descrita por Woodward-Clyde Associates. (1975), como una Fractura que se localiza a 2.5 km al oeste de Nejapa y sugieren que puede ser el límite occidental de la zona de colapso volcánicos que definen el límite occidental del Graben de Managua;



el estudio mas reciente realizado en esta estructura es el de Álvarez, A. (2002), quien la describe como una fractura de rumbo noroeste y de aproximadamente 8 km de longitud. Dado que en esta investigación no se pudo observar desplazamiento de estratos guías, causados por esta estructura se le denomina también como una fractura, pero basados en el análisis de mapas de modelo sombreado y datos observados en campo, se determinó que esta fractura posee una dirección NW-SE (**Fig.12**), extendiéndose desde la Comarca Nejapa, en su extremo norte hasta la localidad El Cañón, en su extremo sur, teniendo una longitud de 9 km dentro del área de estudio.

La Fractura Wheelock se encuentra dividida en cuatro segmentos principales, que varían de 1 a 2.5 km de largo, con una geometría en échelon derecho y posee zonas de relevo de 0.5 a 0.8 km de longitud. Las rocas que afecta esta fractura son ignimbritas de la Formación Las Sierras, de edad Terciaria y depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria.

6.1.4.3. Bloque Tectónico Managua

Este bloque se localiza en la parte central del Graben de Managua, en base a foto interpretaciones y datos observados en campo, se determinó que se encuentra basculado hacia el este, al igual que los dos bloques descritos anteriormente. La característica más importante de este bloque es que alberga 13 fallas geológicas activas, dentro de las cuales están las causantes de terremotos históricos que han destruido la ciudad de Managua, como el terremoto de 1931; causado por la Falla Estadio y el de 1972; causado por la Falla Tiscapa.

Espinoza. F. (2007), define que este bloque se encuentra limitado al oeste por la Falla Nejapa y al este por la Falla Cofradía, calculando una longitud de 15 km y un ancho de 8 km. Sin embargo en esta investigación, basados en el análisis tridimensional de las



estructuras geológicas del área de estudio; se define que el límite este del bloque Managua, lo constituye la Falla Aeropuerto y no la Falla Cofradía, por lo tanto los valores de su ancho varían de 14 km en la parte norte a 8 km en la parte sur y los valores de alturas oscilan entre los 40 hasta 820 m.s.n.m. El basamento de este bloque está constituido por ignimbritas de la Formación Las Sierras, de edad Terciaria; las cuales se encuentran recubiertas por depósitos piroclásticos de caída, pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria y depósitos aluviales de edad Reciente.

6.1.4.3.1. Falla Asososca – Acahualinca

Woodward-Clyde Associates. (1975), la describen como un escarpe lineal, generalmente empinado de dirección N25°E a N35°E que se extiende desde la Laguna de Nejapa a través de la Laguna de Asososca hasta el borde oriental de la Laguna de Acahualinca, dando una longitud de 1.2 Km. Sin embargo en esta investigación se define, en base al análisis de fotografías aéreas y mapa de modelo sombreados, que dicha falla corresponde a una estructura lineal orientada en dirección general NE-SW (**Fig.12**); que se extiende desde el flanco norte de la Laguna Nejapa, prolongándose hasta las costas del Lago Xolotlán (Managua); posee una longitud total de 5.1 km dentro del área de estudio.

Esta falla se divide en tres segmentos principales, con una geometría en échelon derecho y posee zonas de relevo de 0.6 a 0.8 km de longitud. Litológicamente afecta a rocas ignimbritas de la Formación Las sierras, de edad Terciaria y depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria.

6.1.4.3.2. Falla San Judas

Fue llamada con este nombre por Kuang. J. (1973) y ha sido descrita como una falla con desplazamiento normal, orientada en dirección N-S y una longitud de 4.6 km; que se



caracteriza por un gran escarpe en forma de arco. En esta investigación se propone, en base al análisis de fotografías aéreas en conjunto con el mapa de modelo sombreado, que esta falla se extiende desde el Barrio Batahola Norte, en su extremo norte prolongándose hasta la localidad Los Tacanistes, en su extremo sur (**Fig.12**), dando de esta manera una longitud total de 15.8 km dentro del área de estudio.

Esta falla se encuentra constituida por siete segmentos principales, con geometría en échelon derecho y zonas de relevo de 0.2 a 0.7 km de longitud. También se le clasificó a esta estructura como una falla de tipo transtensional, ya que además de su movimiento normal también posee desplazamiento lateral derecho. Litológicamente afecta a rocas ignimbritas de la Formación Las Sierras, de edad Terciaria y depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria.

6.1.4.3.3. Falla Estadio

Esta falla fue la causante del terremoto que destruyó la ciudad de Managua en 1931, ha sido descrita históricamente, como un sistema de falla conformado por fallas normales con componente lateral derecha, de dirección N-NE; el estudio más reciente realizado en esta falla es de Zambrana, X. (2009); quien la define como un sistemas de fallas activas sub-paralelas de dirección NNE, dispuestas en una zona de ruptura dinámica con un ancho promedio de 200 m y su longitud fue calculada en 500m. Sin embargo en esta investigación se propone, en base a interpretación de fotografías aéreas y el análisis de mapa de modelo sombreado que esta falla se prolonga hacia el sur del Graben de Managua, hasta llegar a la localidad El Carmen (**Fig.12**); por lo que tiene una longitud total de 15.6 km dentro del área de estudio.

Esta falla está constituida por cuatro segmentos principales, que poseen geometría en échelon derecho, con zonas de relevo desde 0.6 a 2.8 km de longitud. Litológicamente



afecta a rocas ignimbritas de la Formación Las Sierras, de edad Terciaria y depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la formación Managua de edad Cuaternaria.

6.1.4.3.4. Falla Los Bancos

Esta falla se encuentra paralela a la Falla Estadio, recibe este nombre porque pasa por el Banco Central, Banco de Nicaragua y Banco de América. Brown, R.D et al. (1973), fueron los primeros en describir esta estructura como una falla de desplazamiento lateral izquierdo, con longitud de 2.1 km en tierra y ha sido proyectada por Matumoto y Lathan (1973) en Woodward-Clyde Associates. (1975); hasta 12 km dentro del lago Xolotlán (Managua), en base a localización de réplicas de sismos.

En esta investigación se identificó esta falla, como una estructura lineal orienta en dirección general NE-SW (**Fig.12**); con una longitud total de 3.8 km dentro del área de estudio. Se encuentra representada por dos segmentos principales, con geometría en échelon derecho y zonas de relevo de 0.2 km de longitud. Litológicamente afecta a rocas ignimbritas de la Formación Las Sierras, de edad Terciaria; las que se encuentran recubiertas por depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria.

6.1.4.3.5. Falla Tiscapa

Esta falla es la que ocasionó el terremoto de Managua en 1972, se encuentra paralela a la Falla Los Bancos, ha sido descrita por Kuang, J. (1971), Brown, R.D et al. (1973), Woodward-Clyde Associates. (1975), entre otros como una falla de movimiento normal y desplazamiento lateral izquierdo, que tiene una longitud de 5.8 km.

En esta investigación en base fotointerpretación de fotografías aéreas, análisis de mapa de modelo sombreado y datos observados en el campo se define, como una estructura lineal orientada en dirección NE-SW y N-S (**Fig.12**), la cual debido al movimiento normal



y desplazamiento lateral izquierdo se ha clasificado como una falla transtensional, que se extiende desde la orilla del Lago Xolotlán (Managua), desplaza en sentido normal la Laguna de Tiscapa y se prolonga hacia el sur del área de estudio; hasta llegar a la localidad Las Viudas; ubicada al sur de Managua, donde alcanza una longitud total de 12.8 km dentro del área de estudio.

Esta falla se encuentra representada por cuatro segmentos principales, que poseen geometría en échelon derecho y zonas de relevo desde 0.7 a 1 km de longitud. Litológicamente afecta a rocas ignimbritas de la Formación Las Sierras, de edad Terciaria; las que se encuentran recubiertas por depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria.

6.1.4.3.6. Falla Chico Pelón

Esta falla se encuentra paralela a la Falla Tiscapa, fue descubierta a raíz del terremoto de 1972 que destruyó parte de la ciudad de Managua; ha sido descrita por Cluff, L and Carver, G. (1973), Kuang, J. (1973), Brown, R.D. (1973) and Woodward-Clyde Associates. (1975), como una falla de tipo normal, con desplazamiento lateral izquierdo y longitud de 4.9 km.

En esta investigación en base al análisis de fotografías aéreas y mapa de modelo sombreado se define esta falla, como una estructura lineal, que se encuentra orienta en dirección NE-SW (**Fig.12**); la cual debido a su movimiento normal y desplazamiento lateral izquierdo se ha clasificado como una falla transtensional, que tiene una longitud total de 5.4 km dentro del área de estudio.

Esta falla se encuentra representada por tres segmentos principales, con geometría en échelon derecho y zonas de relevo desde 0.12 a 0.21 km de longitud. Litológicamente afecta a rocas ignimbritas de la Formación Las Sierras, de edad Terciaria; las que se



encuentran recubiertas por depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria.

6.1.4.3.7. Falla Zogaib

Esta falla ha sido descrita por Kuang, J. (1973) y Woodward-Clyde Associates. (1975), como una falla normal, con un desplazamiento total de 40 m y una longitud verificada de 2.7 km. Sin embargo en este trabajo, en base al análisis de fotografías aéreas y modelo de mapa sombreado se define a esta falla como una estructura lineal orientada en dirección NE-SW, que se prolonga hacia el sur del Graben de Managua, donde cambia su orientación a N-S (**Fig.12**). La longitud de esta falla dentro del área de estudio es de 10 km.

La falla Zogaib se encuentra representada por tres segmentos principales, que poseen geometría en échelon derecho y zonas de relevo de 0.8 a 1.1 km de longitud. Litológicamente afecta a rocas ignimbritas de la Formación Las Sierras, de edad Terciaria; las que se encuentran recubiertas por depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria.

6.1.4.3.8. Falla Escuela

Esta estructura ha sido descrita por Kuang, J. and Williams. (1972) y Woodward-Clyde Associates. (1975), como una falla de tipo normal, con un deslizamiento total de 6m, de orientación N50°E y una longitud de 1.5 km.

En esta investigación basados, en la interpretación de fotografías aéreas y mapa de modelo sombreado, se define a esta falla como una estructura lineal de orientación general NE-SW, la cual se encuentra paralela a la Falla Chico Pelón y se extiende desde el Reparto San Juan en su extremo sur, hasta llegar a dar a la orilla del Lago Xolotlán



(Managua) en su extremo norte (**Fig.12**); con una longitud total de 5.3 km dentro del área de estudio.

Esta falla se encuentra representada por dos segmentos principales, con geometría en échelon derecho y posee una zona de relevo de 0.2 km de longitud. Litológicamente se encuentra desplazando principalmente a depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua, de edad Cuaternaria y depósitos aluviales de edad Reciente.

6.1.4.3.9. Falla Centro América

Esta falla ha sido descrita por Kuang. J. (1973) y Woodward-Clyde Associates. (1975), como una falla de tipo normal con desplazamiento vertical de 2.0m, de dirección N15°E y longitud de 1.8 km. En esta investigación en base al análisis de fotografías aéreas y mapa de modelo sombreado se define a esta falla como una estructura lineal que se extiende desde Altamira prolongándose, hacia el sur hasta llegar a coincidir con la Falla Las Nubes (**Fig.12**). La orientación de esta falla es variable ya que en su extremo norte tiene orientación NE-SW y en su extremo sur cambia a N-S. Su longitud total es de 11.4 km dentro del área de estudio.

Esta falla se encuentra representada por cinco segmentos principales que poseen geometría en échelon derecho y zonas de relevo de 0.9 a 1 km de longitud. Litológicamente afecta a rocas ignimbríticas de la Formación Las Sierras, de edad Terciaria; las que se encuentran recubiertas por depósitos piroclásticos de caída, pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria.

6.1.4.3.10. Falla Las Colinas

Esta falla ha sido descrita por Woodward-Clyde Associates. (1975), como una falla de tipo normal, de orientación NW-SE, con un desplazamiento aparente de 4 m, ocurrido en el Holoceno y una longitud de 3 km.



En esta investigación, en base a la interpretación de fotografías aéreas y análisis de mapa de modelo sombreados se define esta falla como una estructura lineal orientada en dirección general NW-SE (**Fig.12**), que se extiende desde Las Colinas en su extremo sur hasta el Barrio 21 de Enero en su extremo norte. Con una longitud de 2.6 km dentro del área de estudio.

Esta falla se encuentra representada por dos segmentos principales que poseen geometría en échelon derecho y una zona de relevo de 0.4 km de longitud. Litológicamente se encuentra desplazando principalmente a depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua, de edad Cuaternaria y depósitos aluviales de edad Reciente.

6.1.4.3.11. Falla Mirador

De esta falla existen pocos estudios, en esta investigación basados en la interpretación de fotografías aéreas y mapa de modelo sombreado se define como una estructura lineal de tipo normal, que se encuentra en la parte sur del área de estudio, orientada en dirección general NE-SW (**Fig.12**), la cual se extiende en su extremo norte desde la Localidad El mirador; lugar de donde toma su nombre, hasta la Localidad El Panorama, en su extremo sur. Con una longitud de 6.5 km dentro del área de estudio.

Esta falla se encuentra representada por dos segmentos principales, que poseen geometría en échelon derecho y una zona de relevo de 0.9 km. Litológicamente se encuentra desplazando principalmente a depósitos volcánicos de caída pertenecientes a la Formación Managua, de edad Cuaternaria y depósitos aluviales de edad Reciente.

6.1.4.3.12. Falla Santo Domingo

De esta falla existe muy poca información, en esta investigación en base al análisis de fotografías aéreas y mapa de modelo sombreado se le define como una estructura lineal



de tipo normal, que se encuentra paralela a la Falla Mirador (**Fig.12**). La orientación general que esta falla presenta es NE-SW, se extienden en su extremo norte desde la Localidad de Santo Domingo, lugar de donde toma su nombre hasta la Localidad Los Penachos, en su extremo sur, con una longitud de 8.3 km dentro del área de estudio.

La falla Santo Domingo se encuentra representada por tres segmentos principales, con geometría en échelon derecho y zonas de relevo de 0.5 km. Litológicamente se encuentra desplazando principalmente a depósitos volcánicos de caída pertenecientes a la Formación Managua, de edad Cuaternaria y depósitos aluviales de edad Reciente.

6.1.4.3.13. Falla Las Nubes

Esta falla no ha sido estudiada a detalle, en estudios previos como el de Woodward-Clyde Associates. (1975), se refieren a ella como Falla Mateare - Las Nubes, haciendo referencia a una sola falla; sin embargo en esta investigación se describen estas dos fallas por separado.

La falla Las Nubes consiste en una estructura lineal, que es considerada el límite sur del Graben de Managua, atraviesa todas Las Sierras de Managua; su orientación general es de NE-SW (**Fig.12**), con buzamiento hacia el NW y una longitud total de 9.6 km dentro del área de estudio.

La falla Las Nubes está constituida por una serie de segmentos discontinuos, que poseen geometría en échelon izquierdo y zonas de relevo de 0.5 a 1 km. Litológicamente esta falla afecta rocas ignimbríticas que pertenecen a la Formación Las Sierras, de edad Terciaria y depósitos piroclásticos de caída, pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria.



6.1.4.4. Semi-Graben Aeropuerto

Esta estructura ha sido descrita por Frishbutter. A. (2002) y Cowan. H et al (2000), como el limite este del Graben de Managua y en escala regional de la zona de falla de Managua, que se caracteriza por poseer en su parte central un patrón de lineamientos sub-paralelos, especialmente en su parte norte.

Esta estructura se ubicada en la parte este del área de estudio, en base al análisis e interpretación de su morfología, se le ha clasificado en esta investigación con el nombre de Semi-Graben Aeropuerto; debido a que sus límites este y oeste son asimétricos. Sus dimensiones son 20.5 km de largo y un ancho variable que va de 8.5 en su extremo sur a 9.6 en su extremo norte.

Estructuralmente este Semi-Graben está afectado por el sistema de Fallas Sabana Grande-Veracruz con orientación NE-SW, sobre el cual se encuentran emplazados algunos conos de escoria y la Falla Ticuantepe, que también posee orientación NE-SW. Los límites de este Semi-Graben los constituyen al oeste la Falla Aeropuerto y al este la Falla Cofradía; la cual será descrita más adelante.

Las elevaciones dentro de esta estructura varían de 60 m.s.n.m en la parte más plana, a 360 m.s.n.m conforme se acerca a la Falla Cofradía. El Semi-Graben Aeropuerto litológicamente se encuentra rellenado por sedimentos aluviales, que tienen espesores hasta de 100 m, los que descansan sobre un basamento de rocas ignimbritas, pertenecientes a la Formación Las Sierras de edad Terciaria.

6.1.4.4.1. Falla Aeropuerto

Esta falla ha sido descrita por Kuang. J. (1973), Woodward-Clyde Associates. (1975) y Cowan. H. (2000) como una falla de tipo normal con desplazamiento total de 5 m, de



orientación N-S, que se extiende desde Las Jaguitas hasta la costa del Lago Xolotlán (Managua), con una longitud de 3.4km.

En esta investigación se describe esta falla, como una estructura lineal que constituye el límite oeste del Semi-Graben Aeropuerto y se propone, en base al análisis de fotografías aéreas y mapa de modelo sombreado, que se extiende en su extremo norte desde la orilla del lago Xolotlán (Managua), prolongándose hasta la localidad San Francisco en su extremo sur (**Fig.12**); con una longitud total de 21 km dentro del área de estudio.

La falla Aeropuerto está constituida por una serie de segmentos de fallas, que poseen geometría en echelón derecho, con zonas de relevo de 0.5 a 2.7 km de longitud. La orientación de esta falla es variable ya que en la parte norte posee orientación N-S y en la parte sur cambia su orientación a NE-SW.

Litológicamente esta falla afecta rocas ignimbríticas, que pertenecen a la Formación Las Sierras, de edad Terciaria; depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua, edad Cuaternaria y depósitos aluviales de edad Reciente.

6.1.4.4.2. Falla Ramal Aeropuerto

Esta falla ha sido descrita por Kuang. J. (1973) y Woodward-Clyde Associates. (1975), como una falla probablemente de tipo normal, orientada en dirección NW y una longitud de 9 km.

En esta investigación se define esta falla como una estructura lineal orienta en dirección NW-SE (**Fig.12**), que se extiende desde la Comarca Veracruz en su extremo sur, hasta coincidir con la Falla Aeropuerto en su extremo norte, con una longitud total de 5.8 km dentro del área de estudio.

La Falla Ramal Aeropuerto se encuentra constituida por tres segmentos principales, que presentan geometría en echelón izquierdo, con zonas de relevo de 0.3 km de longitud.



Litológicamente se encuentra afectando a sedimentos aluviales, de edad Reciente; los cuales descansan sobre un basamento de rocas ignimbríticas, pertenecientes a la Formación Las Sierras de edad Terciaria.

6.1.4.4.3. Falla Sabana Grande – Veracruz

De esta falla no hay mucha información previa, en un estudio realizado por Álvarez, A. (2002) la describe como una estructura de rumbo norte-sur y longitud aproximada de 5 km. En esta investigación se pudo constatar que se trata de una estructura lineal, orientada en dirección N-S (**Fig.12**); que se extiende desde la localidad Sabana Grande en su extremo norte, prolongándose hasta la Caldera Masaya en su extremo sur, con una longitud de 14 km, dentro del área de estudio. Sobre esta falla se encuentran emplazados una serie de conos de escoria, los cuales han sido originados por erupciones de tipo fisural, provenientes de la cámara magmática del Volcán Masaya.

En base al análisis de fotografías aéreas y mapa de modelo sombreado, se define en esta investigación que la Falla Sabana Grande – Veracruz, se encuentra representada por tres segmentos principales con geometría en echelón derecho y zonas de relevo de 1.7 a 2.3 km de longitud. Litológicamente se encuentra afectando a sedimentos aluviales de edad reciente y depósitos volcánicos provenientes de erupciones del volcán Masaya; los cuales descansan sobre un basamento de rocas ignimbríticas, pertenecientes a la Formación Las Sierras, de edad Terciaria.

6.1.4.4.4. Falla Ticuantepe

De esta falla se conoce poca información previa, en esta investigación se describe como una estructura lineal que posee orientación NE-SW (**Fig.12**), y se extiende desde la entrada de la carretera a Ticuantepe en su extremo norte hasta la Comarca La Francia en su extremo sur, con una longitud de 8.9 km dentro del área de estudio.



La Falla Ticuantepe se encuentra representada por tres segmentos principales, que poseen geometría en échelon derecho y zona de relevo de 0.7 a 1.1 km. Litológicamente se encuentra afectando a depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria; los que descansan sobre un basamento de rocas ignimbríticas, de la Formación Las Sierras de edad Terciaria.

6.1.4.5. Bloque Tectónico Cofradía

Este bloque constituye el límite este del Graben de Managua, en base a foto interpretación y análisis de mapa de modelo sombreado se determinó, que este se encuentra basculado hacia el oeste. Su límite oeste lo constituye la falla Cofradía y su límite este aun no está definido. La longitud de este bloque es de 20.3 km dentro del área de estudio; se caracteriza por que en su extremo sur, se encuentra parte de la Caldera Masaya. Los valores de las alturas oscilan entre 60 a 400 m.s.n.m.

Litológicamente su basamento está constituido por ignimbritas, pertenecientes a la Formación Las Sierras de edad Terciaria; las cuales se encuentran recubiertas por depósitos volcánicos de caída pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria, intercalados por suelos fósiles. En este bloque además de la Falla Cofradía, que constituye su límite oeste, se lograron identificar dos fallas geológicas más, orientadas en dirección noreste-sureste.

6.1.4.5.1. Falla Cofradía

Esta falla ha sido descrita por Kuang, J and R, L. Williams (1971), Arce, J. (1973) and Woodward-Clyde Associates. (1975), como una falla normal de orientación N-S que delimita el extremo este del Graben de Managua, con una longitud de 40 km. El estudio más reciente de esta falla es el realizado por Rubí, C. (2011); quien en base a la lectura de 5 trincheras, elaboradas en el sector meridional de esta falla, propone como mínimo 3



eventos sísmicos que han afectado la superficie, en los últimos 1,700 años; con un periodo de recurrencia del orden de 500 años y una tasa de deslizamiento de 1mm/año. Sísmicamente es considerada como una falla activa, la cual a partir de datos históricos se le han asociado los terremotos de 1865 y 1866, que cambiaron la topografía del Río Tipitapa.

En esta investigación se describe a esta falla como una estructura lineal, orientada en dirección N-S en su extremo norte y que en su extremo sur cambia la orientación a NE-SW (**Fig.12**). Se extiende desde la costa del lago Xolotlán hasta la Caldera Masaya, con una longitud de 32 km dentro del área de estudio y forma un escarpe de aproximadamente 7m de altura.

La falla Cofradía se encuentra representada por seis segmentos principales, con geometría en échelon derecho y zonas de relevo de 0.5 a 1.8 km. Litológicamente esta falla se encuentra afectando a sedimentos aluviales de edad reciente y depósitos volcánicos de caída pertenecientes a la Formación Managua, de edad Cuaternaria; todos estos se encuentran sobreyaciendo a un basamento de composición ignimbrítica, pertenecientes a la Formación Las Sierras, de edad Terciaria.

6.1.4.5.2. Falla La Ceiba

De esta falla no existe información previa, en esta investigación se le denomina con este nombre, por que pasa por una Localidad La Ceiba, ubicada al norte del área de estudio. Basados en el análisis de fotografías aéreas en conjunto con el mapa de modelo sombreado se le define, como una estructura lineal que se encuentra orientada en dirección NE-SW (**Fig.12**); con desplazamiento lateral izquierdo. Esta falla se extiende desde la Caldera Masaya en su extremo sur, hasta la Localidad San Fernando en su extremo norte; con una longitud de 9.3 km dentro del área de estudio.

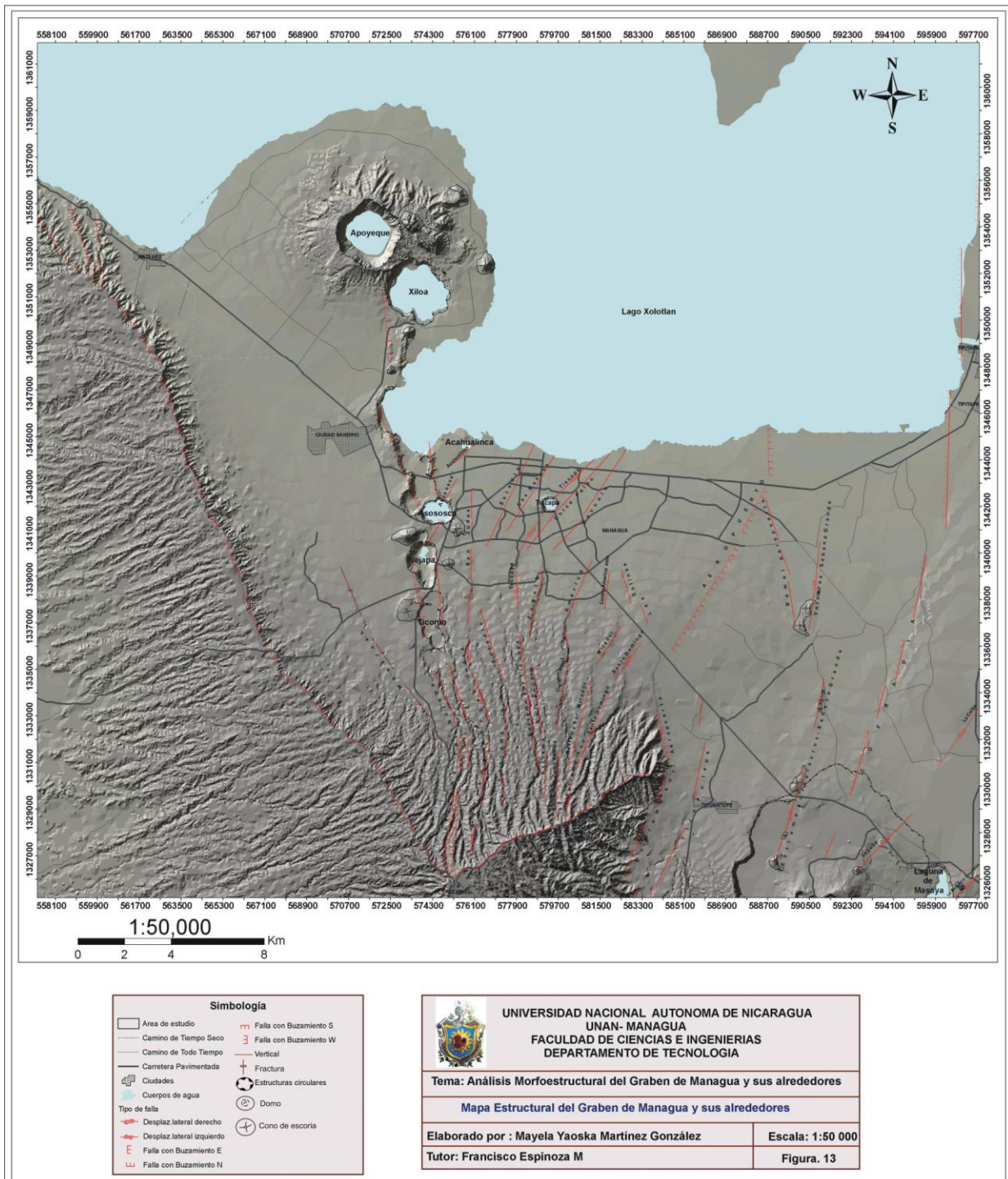


La falla La Ceiba se encuentra representada por dos segmentos principales, que poseen geometría en échelon derecho y zonas de relavo de 2.3 km de longitud. En esta falla se encuentra emplazado un cono de escoria, el cual es producto de erupciones fisurales, provenientes de la cámara magmática del Volcán Masaya. Litológicamente se encuentra afectando a depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua y rocas de composición basálticas, de edad Cuaternaria, producto de erupciones del volcán Masaya.

6.1.4.5.3. Falla La Barranca - Coyotepe

En esta investigación se denomina a esta falla con este nombre por que pasa por los cerros La Barranca y Coyotepe, ubicados al sur del área de estudio. En base al análisis de fotografías aéreas y mapa de modelo sombreado se determinó que consiste de una estructura lineal orientada en dirección NE-SW (**Fig.12**), con desplazamiento lateral izquierdo. Esta falla se extiende desde las paredes de la Laguna de Masaya en su extremo sur hasta el Cerro Coyotepe en su extremo norte, con una longitud de 1.8 km dentro del área de estudio.

Esta falla está representada por un solo segmento de falla y sobre ella se encuentran emplazados dos conos de escoria. Litológicamente se encuentra afectando a depósitos volcánicos de caída pertenecientes a la formación Managua, de edad Cuaternaria; el basamento en esta área no está bien definido, pero se piensa que corresponde a ignimbritas de la Formación La Sierra, de edad Terciaria.





6.2. Morfología del Graben de Managua y sus alrededores

Con el propósito de llevar a cabo un mejor análisis e interpretación geoestructural del área de estudio, se digitalizaron las curvas de nivel del Graben de Managua y sus alrededores y en base a estas se elaboraron los mapas: altimétrico, pendientes y modelo de relieve sombrea; los cuales permitieron definir las características estructurales preliminares del terreno.

6.2.1. Mapa Topográfico

El mapa topográfico es una representación de la superficie terrestre mediante curvas de nivel, que tiene como finalidad mostrar las variaciones del relieve. Las curvas de nivel del área de estudio se encuentran en un rango de 40 a 920 msnm, generando un desnivel de 880 m.s.n.m. **(Fig.13)**

Mediante el análisis del comportamiento de las curvas de nivel se identificaron cinco zonas, donde el comportamiento de estas es distinto:

La primer zona se ubica en la parte oeste del mapa, donde las curvas de nivel se observan poco espaciadas, con dirección preferencial hacia el oeste, con alturas que van desde 140 a 820 m.s.n.m; definiendo una estructura alineada de dirección NW-SE y basculada hacia el oeste, la cual es denominada Falla Mateare y representa el límite oeste del Graben de Managua.

La segunda zona se localiza en la parte sur del mapa, las curvas de nivel se observan muy poco espaciadas, alineadas en dos direcciones preferenciales; norte y sureste, las elevaciones van de 440 a 920 m.s.n.m. Esta disposición de las curvas define una estructura alineada en dirección NE-SW y basculada hacia el sur, conocida como Falla Las Nubes, la cual es considerada como el límite sur del Graben de Managua.



La tercer zona se encuentra distribuida en ciertas partes el área de estudio y corresponde a curvas de nivel con forma circular y en ocasiones discontinuas, las elevaciones en esta área son muy variadas. Estas curvas de nivel definen estructuras circulares como calderas, anillos de tobas, maares, conos de escoria y estructuras domicas. La mayor concentración de estas estructuras se encuentran emplazadas a lo largo de la falla Nejapa.

La cuarta zona corresponde a curvas de nivel muy espaciadas, las cuales representan la zona más baja del área de estudio, las elevaciones van de 40 a 260 m.s.n.m. Es en esta área es donde se encuentra ubicada la ciudad de Managua.

La quinta zona se localiza en la parte este del área de estudio, las curvas se observan continuas, los rangos de elevaciones para esta área son muy variados. Estas curvas definen una estructura alineada en dirección N-S y basculada hacia el este, denominada falla Cofradía la cual marca el límite este del Graben de Managua.

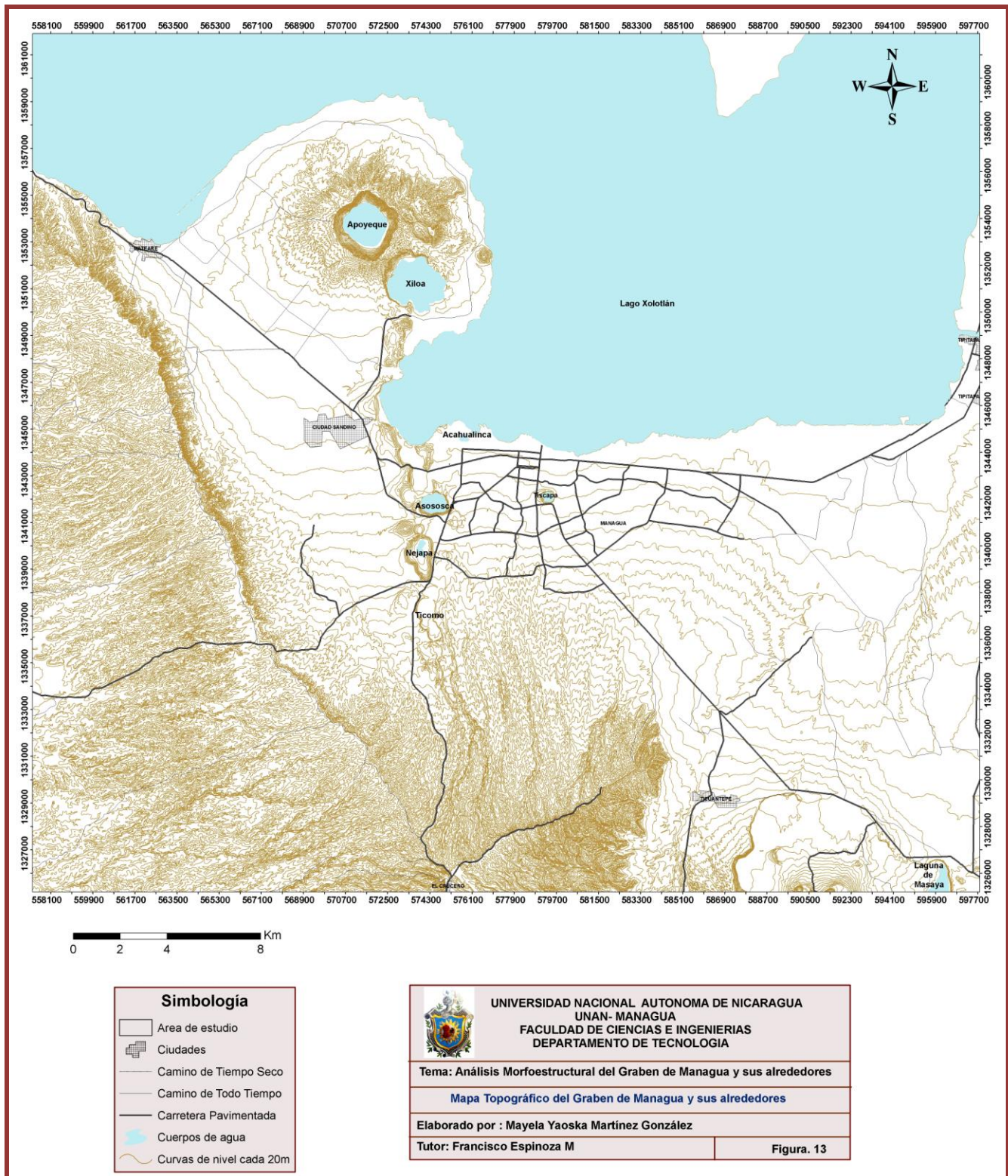


Figura.13. Mapa Topográfico del área de estudio.



6.2.2. Mapa Altimétrico o Hipsométrico

El mapa altimétrico o mapa hipsométrico, es el plano en el cual se representan las diferentes elevaciones topográficas que caracterizan un área, la representación se hace por medio de una variada gama de colores. Los tonos con mayor intensidad corresponden a las máximas altitudes, de esta forma se pueden diferenciar entre las partes altas, las escarpadas y las de menor elevación.

Para el mapa altimétrico del área de estudio (**fig.14**), se utilizó una gama de colores que comienza con tonos de baja intensidad para las partes bajas, a medida que las elevaciones aumentan la intensidad de los tonos de colores es más marcada. La diferencia entre los tonos permitió observar los principales rasgos estructurales que se encuentran dentro del área de estudio.

En la parte sur del mapa es donde se concentran las mayores alturas, descendiendo de manera lineal hacia el oeste y noreste del área. Este descenso define dos estructuras importantes como son la Falla Mateare, la cual marca el límite oeste del Graben de Managua y la Falla Las Nubes, que es considerada el límite sur del mismo Graben.

Se destaca en la parte central del mapa el alineamiento N-S de una gran cantidad de estructuras volcánicas asociadas a calderas, maares, estructuras domicas, conos de escoria y anillos de toba. Hacia el este se pueden observar en menor proporción otras estructuras volcánicas, que también están asociadas a calderas y conos de escorias.

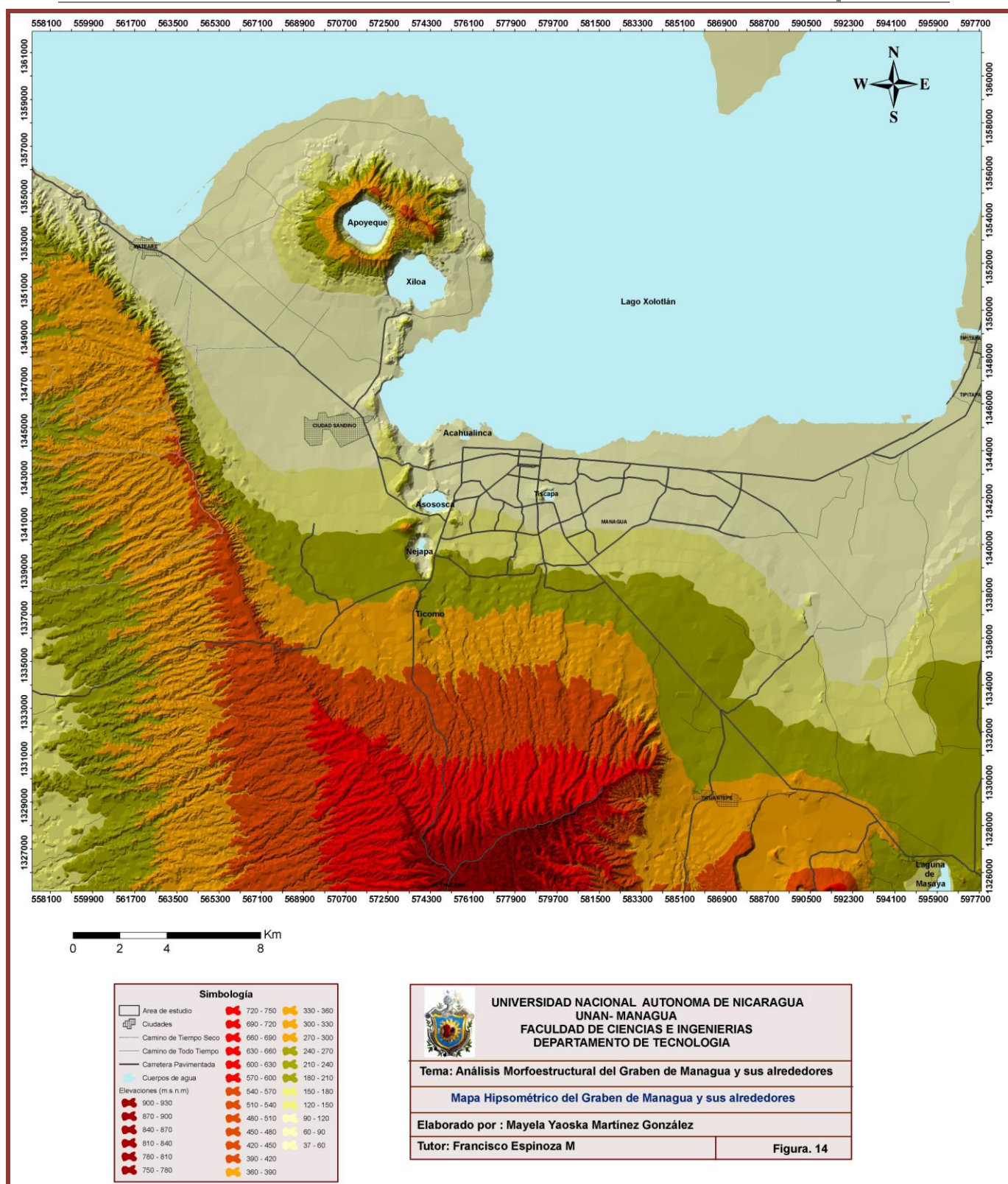


Figura.14. Mapa Altimétrico o Hipsométrico del área de estudio



6.2.3. Mapa de Pendientes

El mapa de pendientes se obtiene a partir de la diferencia de alturas de las curvas de nivel y el espacio entre ellas. Este mapa permite determinar patrones geomorfológicos en función del cambio de coloración.

En base al mapa de pendientes del Graben de Managua (**Fig.15**), se identificaron cuatro patrones geomorfológicos, que van de menor a mayor pendiente: valles ($0-15^\circ$), lomas ($15-30^\circ$), laderas ($30-45^\circ$) y zonas escarpadas ($>45^\circ$).

Las zonas con las mayores pendientes se observan como zonas escarpadas, dando rasgos geomorfológicos sobresalientes que definen zonas de fallas y estructuras circulares asociadas a calderas, anillos de toba, conos de escoria, estructuras domicas y maares.

Las estructuras que mejor se aprecian en este mapa son la Falla Mateare, que se encuentra basculada hacia el oeste y buza hacia el este; la Falla Las Nubes con orientación noreste-suroeste, basculada hacia el sur y buza hacia el noroeste; el alineamiento con dirección norte-sur de estructuras circulares, emplazadas a lo largo de la Falla Nejapa y la Caldera Masaya.

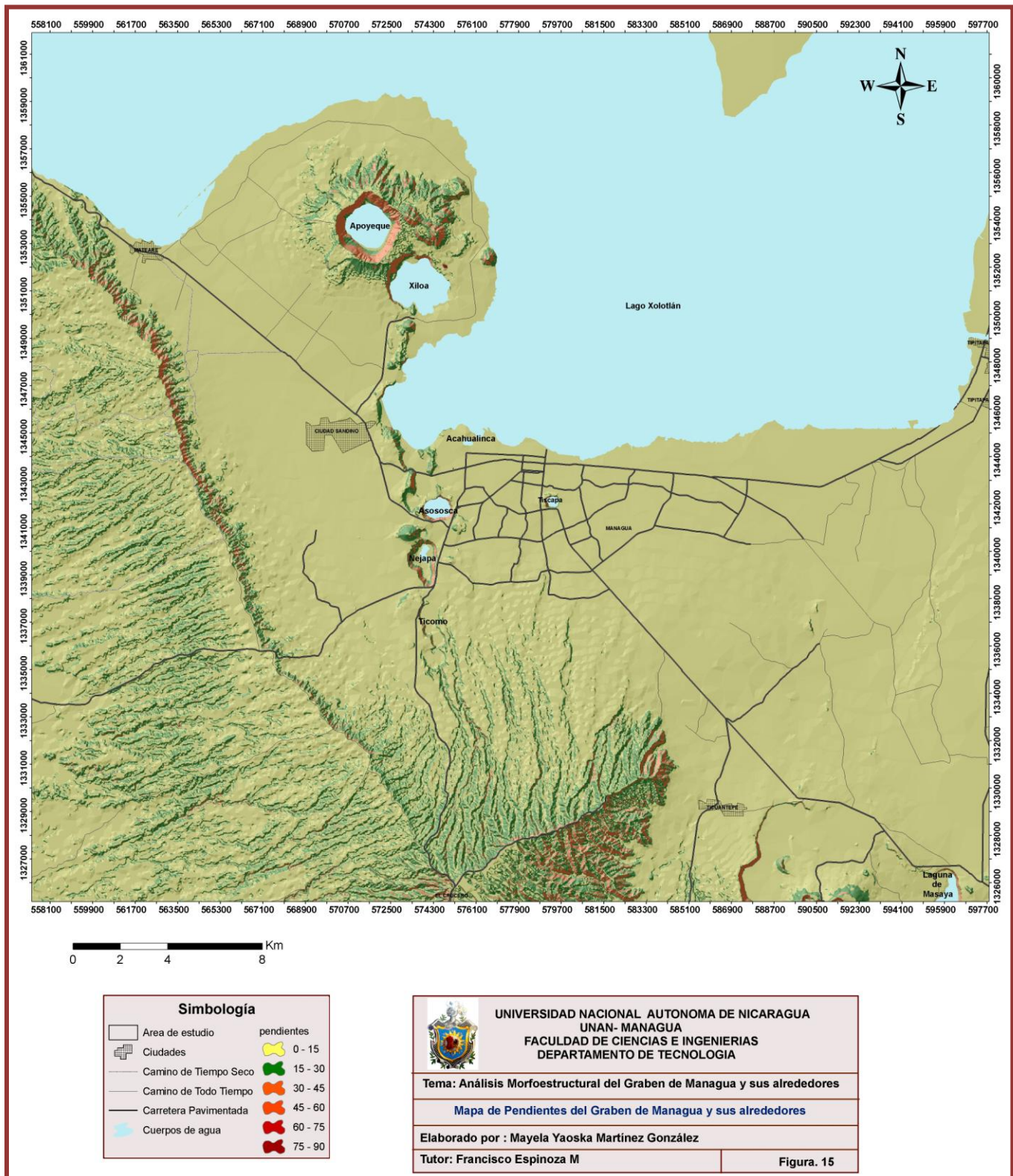


Figura.15. Mapa de Pendientes del área de estudio



6.2.4. Mapa de Modelo de Relieve Sombreado

El mapa de relieve sombreado se genera a partir de la interpolación de los datos de altura de las curvas de nivel, este mapa permite apreciar las características del terreno en tres dimensiones.

El mapa de relieve sombreado del área de estudio (**Fig.16**), en conjunto con la fotointerpretación permitió realizar el análisis estructural del Graben de Managua y facilitó trazar las morfoestructuras. Se identificaron cinco rasgos morfoestructurales; de los cuales uno corresponde a un semi-graben, conocido con el nombre de Aeropuerto y las otras cuatro corresponden a bloques tectónicos, los que se encuentran dispuestos en forma de escalones neotectónicos y se denominan como: Mateare, Nejapa, Managua y Cofradía. Los tres primeros fueron investigados anteriormente por (Espinoza, 2007) y en este trabajo se investiga por primera vez el bloque Cofradía.

El semi-graben Aeropuerto se localiza al este del área de estudio, se caracteriza por observarse en forma de una depresión topografía no muy marcada, en la que se encuentran alineadas estructuras de conos de escoria.

El primer bloque es Mateare, localizado al oeste del área de estudio, se caracteriza por poseer parte de las mayores alturas que se encuentran en el Graben de Managua, el drenaje en este bloque se observa en dirección preferencial hacia el oeste y en menor proporción hacia este. Este bloque marca el límite oeste del Graben de Managua.

El segundo bloque es Nejapa, se caracteriza por la presencia de numerosas estructuras volcánicas circulares asociadas a maares, calderas, conos de escoria, anillos de toba y estructuras domicas, alineadas en dirección norte-sur.

El tercer bloque se denomina Managua, porque es en esta área donde se ubica la ciudad de Managua, se localiza en la parte central de mapa de modelo sombreado del Graben de



Managua, su principal característica es la presencia de numerosas fallas geológicas activas.

El cuarto bloque es Cofradía, el cual marca el límite este del Graben de Managua, las alturas en este bloque se caracterizan por ser moderadas, que van desde 60 a 320 m.s.n.m; la topografía se observa en forma de colinas alargadas de poca elevación que están basculadas hacia el este. En la parte sur de este bloque se encuentra parte de la Caldera Masaya.

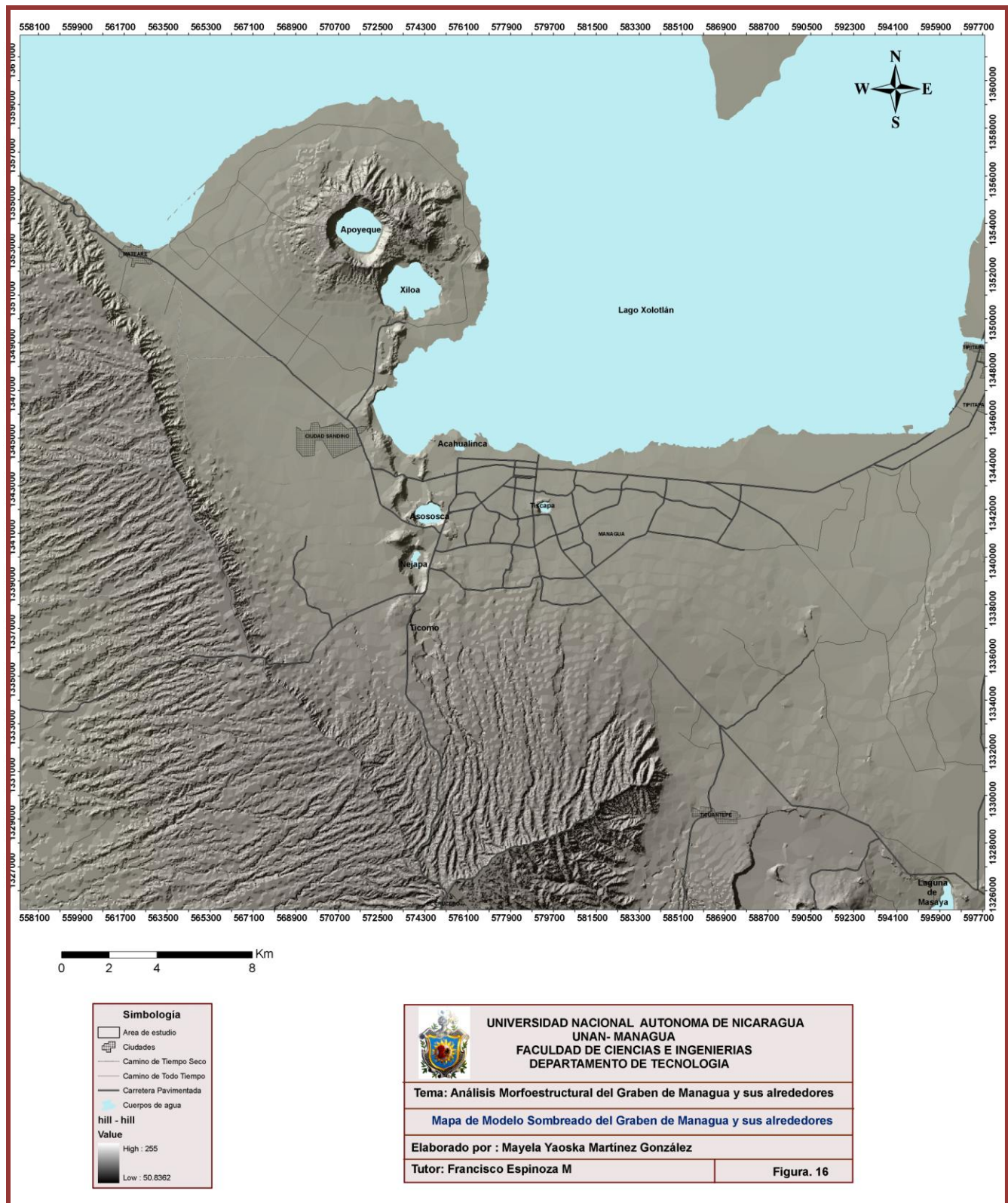


Figura.16. Mapa de Modelo sombreado del área de estudio



6.3. Morfoestructuras del Graben de Managua

Las morfoestructuras según Guerasimov, I.P. (1986), son consideradas como la expresión de la estructura geológica en el relieve actual. Las manifestaciones de los movimientos tectónicos recientes se reflejan a través de los desplazamientos horizontales o verticales de estas unidades estructuro-geomorfológicas.

Para la clasificación y realización del mapa de morfoestructuras del Graben de Managua (**Fig.17**), se partió de la teoría del análisis morfoestructural y su clasificación tipológica de Guerasimov, I. P. (1986), de su aplicación en Cuba por Díaz, J et al. (1989) y en el extremo oriental cubano por Hernández, J et al. (1995). Y su aplicación al territorio de Oaxaca por Hernández, J et al. (1994, 1996, 2005, 2007); Ortiz et al. (1997); Zamorano et al. (2000). La clasificación está basada en 6 niveles jerárquicos (**Tabla.2**). A continuación se hace una descripción de estos niveles de esta tabla, la cual se ha adaptado a las características morfoestructurales del Graben de Managua; haciendo énfasis principalmente en los niveles IV y V, ya que es en estos donde se encuentran las características que más se asemejan a las encontradas en el área de estudio.

6.3.1. Nivel Jerárquico I

Geotextura se define según Guerasimov, I. P. (1986) como la expresión del origen y la consolidación morfoestructural del relieve, por la acción de los mecanismos geotectónicos planetarios y regionales. Bajo este concepto se define el área de estudio como una fosa tectónica, denominada Graben de Managua; la cual fue originada por la interacción de esfuerzos compresivos y extensivos que se dan por el movimiento de la Placa tectónica de Cocos por debajo de la Placa del Caribe, bajo un mecanismo de subducción.



Jerarquía	Nomenclatura de la tipología morfoestructural
I	Tipo de geotextura (según Guerasimov, 1986). En el caso oaxaqueño: Morfoestructuras de paleocratón proterozoico (Oaxaquia) y de acreción de terrenos tectonoestratigráficos paleo-mesocenoicos en las zonas de sutura subductiva de transición marginal entre placas continental y oceánica (Norteamericana y Cocos Sur) y de sutura transformante (Norteamericana-Caribe).
II	Basamento geológico: A. Complejos metamórficos e intrusivos precámbricos (Proterozoico tardío); B. Complejos metamórficos (Complejo Acatlán), intrusivos batolíticos (Chiapas) y sedimentarios plegados paleozoicos; C. Complejos metamórficos, intrusivos, sedimentarios y vulcano-sedimentarios Mesozoicos (Complejo Mazateco); D. Complejos metamórficos e intrusivos mesozoicos (Complejo Xolapa); E. Complejos sedimentarios plegados y subhorizontales de las cuencas terciario-cuaternarias superpuestas y complejos intrusivos y extrusivos terciarios.
III	Carácter litológico del modelado exógeno: a. Relieve estructuro-denudativo, formado sobre complejos carbonatados y metacarbonatado; b. Relieve estructuro-denudativo, formado sobre complejos metamórficos, intrusivos y extrusivos, con desarrollo de superficies areales y lineales de planación, diseccionadas; c. Relieve denudativo-tectónico, formado sobre complejos intrusivos, metaterrígenos y terrígenos, muy diseccionados; d. Relieve denudativo-acumulativo, sobre basamentos antiguos y modernos, formado por procesos erosivos y acumulativos en cuencas intramontanas y costeras; y e. Relieve transgresivo-litoral, formado por procesos fluviales, marinos y palustres en cuencas costeras, referido al modelado de las morfoestructuras costeras y a su constitución acumulativa por los procesos reinantes.
IV	Categorías (montañas, lomeríos y planicies) y subcategorías (montañas altas, medias, bajas, premontañas; lomeríos altos, medianos y pequeños; planicies muy altas, altas, medianas, bajas y muy bajas) del relieve; asociadas a la intensidad de los movimientos neotectónicos (N - Q).
V	Sistemas geotectónicos de interrelaciones tridimensionales: A. Sistema lineal de bloques paralelos, formados en fases metamórficas de plegamientos profundos, y alineados por el rumbo; B. De bloques en plegamientos y monoclinales, ocasionalmente basculados; C. Monolítico de bloques en plegamientos, ocupando ejes orográficos; D. Ortogonal escalonado de bloques masivos en el margen continental de subducción; E. Lineal de bloques en plegamientos y monoclinales, escalonados y trenzados por fallas transcurrentes y deformados en arco por la transpresión entre placas; F. Basculado de bloques en plegamientos y monoclinales.
VI	Carácter morfoestructural interno: morfoestructuras masivas, formadas en rocas intrusivas y metamórficas; plegadas; de bloques en plegamientos y en monoclinales; de estructura brechosa y caótica, y otras; mientras que tomando en consideración su posición con respecto al plano horizontal y a las unidades circundantes, se dividen en basculadas, inclinadas, escalonadas, arqueadas, trenzadas y otras.

Tabla.2. Niveles jerárquicos de la clasificación de las morfoestructuras.



6.3.2. Nivel Jerárquico II

El basamento geológico del Graben de Managua y sus alrededores lo conforma la Formación Las Sierras, la cual hasta la fecha no ha sido estudiada a detalle. Litológicamente esta formación está constituida por ignimbritas, de composición basáltica a intermedia. La edad estimada para esta formación según el método de C^{14} , es de 34 mil años. Kutterolf, S et al. (2007).

6.3.3. Nivel Jerárquico III

El carácter litológico del modelado exógeno, está regido por las relaciones espaciales entre la morfoestructura activa (tectónica) y pasiva (litológica). Bajo este contexto el Graben de Managua se encuentra constituido, por cuatro bloques tectónicos y un semi-Graben asimétrico; los cuales fueron originado por la morfoestructura activa y han sido modelados de forma selectiva bajo el control litológico, por los procesos denudativos; los que han determinando la configuración y la expresión morfoestructural actual de los mismos.

6.3.4. Nivel Jerárquico IV

Los bloques morfoestructurales del relieve, están determinados por la diferenciación de la intensidad de los movimientos neotectónicos y reflejan el espectro, de las categorías y subcategorías básicas del relieve. En el Graben de Managua estos bloques se encuentran bien definidos y distribuidos en forma de escalonamientos neotectónicos, donde se aprecian cinco zonas con diferentes diseños estructuro-tectónicos y características de su expresión geomorfológica; estas corresponden un semi-graben asimétrico llamado Aeropuerto y cuatros Bloques tectónicos denominados como: Mateare, Nejapa, Managua y Cofradía.



Para la determinación de los pisos altitudinales del relieve actual del Graben de Managua, se analizaron y compararon los espectros geomorfológicos mundiales y el nivel insular cubano (**Tabla.3**). Según esta tabla las características morfoestructurales, de las principales categorías geomorfológicas, se agrupan en los siguientes escalones hipsométricos: Planicies ($0 \leq 200$ m, localizadas en el casco urbano de la ciudad de Managua); Elevaciones o Lomeríos ($200 \leq 400$ m, localizados en la península de Chiltepe, Cerro Motastepe, Cerro Monte Galán y Cerro Los Martínez); Premontañas ($400 \leq 800$ m, localizadas en el extremo norte del Bloque Mateares) y Montañas pequeñas ($800 \leq 940$ m, localizadas en el extremo sur del Bloque Mateares y en la localidad Las Nubes). Las definiciones de categorías y subcategorías del relieve de las zonas, están regidas no solo por los pisos altitudinales; sino que también por la tectónica de placas en el contexto regional, ya que el área de estudio forma parte de la Depresión Nicaragüense.

6.3.5. Nivel Jerárquico V

Para el Graben de Managua se identificaron los siguientes estilos morfotéctónicos tridimensionales: A). Bloque tectónico Mateare: de orientación NW-SE, basculado hacia el oeste y con buzamiento hacia el este. B). Bloque Nejapa: de orientación N-S, buza hacia el este y se caracteriza por albergar en él estructuras volcánicas asociadas a maares, anillos de tobas, conos de escoria, calderas y estructuras domicas. C). Bloque Managua: se caracteriza por la presencia de de numerosas fallas geológicas activas, dispuestas con geometría en échelon. D). Semi-Graben Aeropuerto: se localiza al este del área de estudio y dentro de él se encuentran alineados una serie de conos de escoria. E). Bloque Cofradía: de orientación N-S, con buzamiento hacia el oeste y se encuentra conformado por trazos de fallas dispuestos con geometría en échelon.

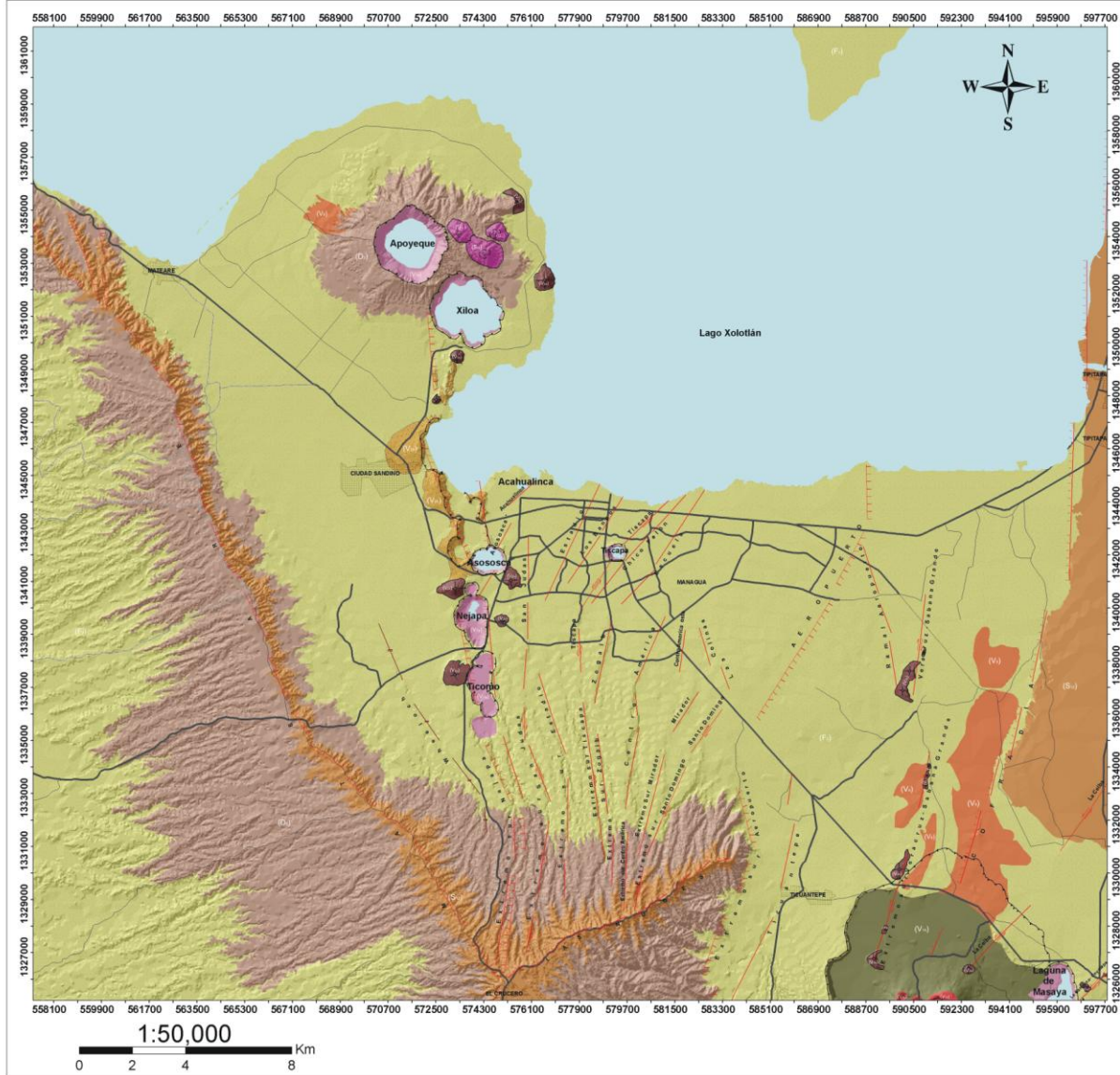


Categorías y subcategorías del relieve	Niveles Espaciales		
	Mundial	Regional Continental: Graben de Managua y sus alrededores	Insular: Cuba
Montañas muy altas	$H > 5\,000\text{ m}$ (acotada en 8850 m, Pico Everest)	-----	-----
Montañas altas	$2\,500 < H \leq 5\,000\text{ m}$	-----	-----
Montañas medias	$1\,300 < H \leq 2\,500\text{ m}$	-----	$1\,200 < H \leq 1\,970\text{ m}$ (Pico Turquino, Sierra Maestra)
Montañas bajas	$800 < H \leq 1\,300\text{ m}$	-----	$800 < H \leq 1\,200\text{ m}$
Montañas pequeñas	-----	$800 < H \leq 940\text{ m}$	$500 < H \leq 800\text{ m}$
Premontañas	$600 < H \leq 800\text{ m}$	$400 < H \leq 800\text{ m}$	$300 < H \leq 500\text{ m}$
Elevaciones o Lomeríos	$650\text{ m} \leq H$	$200 < H \leq 400\text{ m}$	Grandes ($200 < H \leq 300\text{ m}$) Medias ($120 < H \leq 200\text{ m}$) Pequeñas ($120\text{ m} < H$)
Planicies	$0 < H \leq 250\text{ m}$	$0 < H \leq 200$	Altas ($120 < H \leq 280\text{ m}$) Medias ($20 < H \leq 120\text{ m}$) Pequeñas ($20\text{ m} \leq H$)

Tabla.3. Rangos altitudinales de las diferentes categorías y subcategorías de relieve a nivel global (Bashenina, 1988), regional continental del graben de Managua y sus alrededores, e insular de Cuba (Instituto de Geografía, Academias de Ciencias de Cuba, 1989).

6.3.6. Nivel Jerárquico VI

Los tipos de morfoestructuras específicas determinadas para el Graben de Managua y tomando en cuenta, su posición con respecto al plano horizontal se clasifican en: Basculadas, inclinadas y escalonadas.



Simbología		
	unidad de Colinas Denudacionales (D ₁)	Falla con Buzamiento E
	Sub-unidad de Conos de Escoria (V _{1a})	Falla con Buzamiento N
	Sub-unidad de Cráter de Explosión (V _{1b})	Falla con Buzamiento S
	Sub-unidad de Domo (S ₁₁)	Falla con Buzamiento W
	Sub-unidad de Escarpe de Falla (S ₁₂)	Vertical
	Sub-unidad de Flujo de Lava (V ₂)	Fractura
Unidades y sub-unidades geomorfológicas	unidad de Llanuras Aluviales (F ₃)	Estructuras circulares
	Tipo de falla	Conos de escoria
	Desplazamiento lateral derecho	Domo
	Desplazamiento lateral izquierdo	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA UNAN- MANAGUA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA	
Tema: Análisis Morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores	
Mapa Morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores	
Elaborado por : Mayela Yaoska Martínez González	Escala: 1:50 000
Tutor: Francisco Espinoza M	Figura. 6



CAPITULO VII

7. Discusión

Dada la importancia económica de la ciudad de Managua y por ende su crecimiento urbano acelerado, se han realizado muchos estudios de fallamiento superficial en los que se hace una descripción general de las principales fallas geológicas que se encuentran en ella, sin llegar a profundizar en su geometría, dinámica y cinemática; el estudio más cercano a esto es el realizado por Woodward Clyde Associates. (1975), donde se determina que las fallas que se encuentran en la ciudad de Managua son irregulares, con ramales y que los desplazamientos en ellas ocurren repetidamente en los mismos sitios; también mencionan que en general estas fallas se encuentran dispuestas en segmento. En concordancia con estos autores y basados en la presencia de indicadores cinemáticos y arreglos geométricos encontrados en el área de estudio, se especifica que todas las fallas se encuentran dispuestas con geometría en échelon bien definida y una componente lateral, factor importante para determinar la cinemática de estas.

Debido a que muchas de las fallas, que se encuentran en el área de Managua no tienen expresión topográfica, no se conoce con exactitud sus dimensiones; algunos autores basados en estudios de batimetría en el Lago Xolotlán (Managua), han interpretado que algunas de estas se extienden hacia el norte, por debajo del Lago y en este trabajo mediante métodos especificados en la parte de descripción estructural, se propone que la mayoría de estas se prolongan hacia el sur del área de estudio, hasta coincidir con la Falla Las Nubes. Además se logró identificar dos nuevas fallas, que se encuentran en el límite este del Graben de Managua, denominadas en este trabajo con los nombres de La Ceiba y La Barranca- Coyotepe.



En cuanto a la dinámica de todas las fallas que se encuentran en el Graben de Managua se coincide con otros autores que también han realizado estudios estructurales en dichas fallas, en que los movimientos que estas presentan son principalmente verticales y laterales; pero que ocasionalmente algunas, poseen una combinación de estos dos movimientos, por lo que se les clasificó en este estudio como fallas transtensionales.

Espinoza. F (2007), basado en el análisis tridimensional de mapas de la porción W del Graben de Managua, divide estructuralmente el área de estudio en tres bloques tectónicos denominados: Mateare, Nejapa y Managua; de este último bloque propone que su límite este lo constituye la Falla Cofradía. En concordancia con este autor en este trabajo utilizando el mismo análisis tridimensional, aplicado a toda la estructura del Graben de Managua, se corroboró la presencia de estos tres bloques, pero se difiere con este autor en que el límite este del bloque Managua no lo constituye la Falla Cofradía, si no la Falla Aeropuerto; además se determinó la existencia de un semi-graben asimétrico, conocido con el nombre de Aeropuerto y un bloque tectónico más, llamado Cofradía; de tal forma que estructuralmente el Graben de Managua, está conformado por cuatro bloques tectónicos y un semi-graben asimétrico; esta última estructura ha sido clasificada de esta forma, ya que su límite oeste no posee una expresión topográfica menos marcada, que su límite este.

Estudios enfocados a determinar las morfoestructuras propiamente dichas que constituyen el Graben de Managua hasta la fecha no existían. Havlíček. P. et al (1997), realizaron un análisis del desarrollo del relieve en la ciudad de Managua, en el que proponen seis unidades morfoestructurales genéticamente diferentes. Sin embargo en esta investigación se difiere de estos autores en cuanto a esta clasificación, ya que utilizando la teoría del análisis morfoestructural y su clasificación tipológica de



Guerasimov, I. P. (1986) y su aplicación en diferentes países, la cual se basa en varios niveles jerárquicos se identificó, que el Graben de Managua está constituido por cinco morfoestructuras; de las cuales una corresponde a un semi-graben asimétrico llamado Aeropuerto y las otras cuatro corresponden a bloques tectónicos denominados como: Mateare, Nejapa, Managua y Cofradía. Todas estas morfoestructuras tomando en cuenta su posición con respecto al plano horizontal se encuentran basculadas, inclinadas y escalonadas, en diferentes direcciones según su ubicación dentro del área de estudio.



CAPITULO VIII

8.1. Conclusiones

➤ En base al análisis geomorfológico realizado en el Graben de Managua, se clasificaron cuatro unidades geomorfológicas, algunas de estas con sus respectivas sub-unidades. Todas estas unidades han sido generadas por la acción de los procesos de meteorización, erosión y depositación a los que está expuesta el área de estudio.

1. Unidad de Colinas Denudacionales (D₂)

2. Unidad de Origen Estructural Denudacional (S)

- Sub-unidad de Domo (S₁₀)
- Sub-unidad de Escarpe de Falla (S₁₂)

3. Unidad de Origen Volcánico (V)

- Sub-unidad de Maar (V_{1a})
- Sub-unidad de Cráter de Explosión (V_{1b})
- Sub-unidad de Conos de Escoria (V_{2a})
- Sub-unidad de Anillos de Toba (V_{2b})
- Sub-unidad de Flujos de Lava (V₉)
- Sub-unidad de Caldera (V₁₄)

4. Unidad de Llanuras Aluviales (F₃)

A través del análisis e interpretación morfoestructural del Graben de Managua, se determinó que dicha estructura está constituida por un semi-graben, denominado Aeropuerto y cuatro bloques tectónicos denominados: Mateare, Nejapa, Managua y Cofradía; los cuales están dispuestos en forma de escalones neotectónicos y se encuentran con respecto al plano horizontal y unidades circundantes, basculados e inclinados.



De acuerdo al análisis e interpretación estructural del Graben de Managua, se determinó la existencia de dos patrones de fallamiento, que atraviesan toda esta estructura. El primer patrón posee orientación N-S; este se caracteriza por que en él se encuentran emplazadas algunas estructuras volcánicas asociadas a domos, calderas, anillos de toba, conos de escoria y calderas. También es este patrón de fallamiento, el que define los límites de los bloques tectónicos que conforman el Graben de Managua. El segundo patrón de fallamiento posee orientación NE-SW, en este se incluyen la Falla Estadio y la Falla Tiscapa, las cuales han sido las causantes de los terremotos que han afectado la ciudad de Managua en 1931 y 1972.

En cuanto a la geometría de las fallas que se encuentran el Graben de Managua, mediante el análisis del mapa de modelo sombreado y datos tomados en el campo, se puede decir que de manera general estas se encuentran dispuestas en echelón, con componentes laterales que varían de derecho a izquierdo y que poseen zonas de relevo, que van desde unos cuantos metros hasta kilómetros de longitud.

La dinámica de las fallas que se encuentran el Graben de Managua fue determinada a través de datos observados en campo e interpretación de los mapas de modelo sombreado y topográfico, llegando a la conclusión que algunas de estas fallas poseen movimientos verticales y otras movimientos laterales, pero en ocasiones algunas de estas fallas presentan en combinación los dos tipos de movimiento, por lo que se les clasificó como fallas de tipo transtensionales.



8.2. Recomendaciones

Con el propósito de contribuir al conocimiento geo-científico del Graben de Managua se recomienda:

- Realizar un estudio a detalle de las morfoestructuras propuestas en esta investigación, con el fin de caracterizar con mayor detalle cada una de estas.
- Elaborar estudios estructurales a detalle en el Graben de Managua con el propósito de elaborar un modelo estructural completo del mismo, ya que hasta la fecha no se cuenta con esta información.
- Llevar a cabo estudios de dataciones radiométricas en las diferentes fallas geológicas del Graben de Managua, con el fin de conocer a ciencia cierta la edad cronológica de estas.
- Realizar estudios geofísicos con métodos como tomografía eléctrica, magnetometría y gravimetría, con el propósito de determinar a ciencia cierta la profundidad de las fallas geológicas, que se encuentran en el Graben de Managua.



CAPITULO IX

9. Bibliografía

- **Avellán, D. 2009.** Tefroestratigrafía de la Parte Occidental de Managua, Nicaragua: Evolución de las Estructuras Volcánicas de Ticomo, Nejapa Y Asososca. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- **Álvarez, A. 2002.** Estudio para el reconocimiento de fallas superficiales. Planchas topográficas escala 1:10000. Aeropuerto 2952-2-02, Sabana Grande 2952-2-06, Monte Tabor 2952-3-11.
- **Arce, j. 1973.** Región de Managua: Tectónica y sismicidad. Catastro inventario de recursos naturales, Managua, Nicaragua. Report, 54 pp.
- **Bice, D. 1980a.** Eruption rate in Central America estimated from volumes of pumice deposits: American Geophysical Union Transactions, v. 61, no. 6, p. 70.
- **Bice, D. 1980b.** Origin of the Masaya Caldera, Nicaragua: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 12, no. 3, p. 98.
- **Bice, D. 1980c.** Tephra stratigraphy and physical aspects of recent volcanism near Managua, Nicaragua {Ph.D. Thesis}: Berkeley, California, University of California, 422 p.
- **Bullard, E et al. 1965.** The fit of the continents around the Atlantic. Royal Soc. (London) Philos. Trans., ser A, 258, 41-51.
- **Brown, R.D et al. 1973.** Geologic and seismologic aspects of the Managua, Nicaragua, earthquakes of December 23, 1972.
- **Cowan, H et al 2000.** Map and Database of Quaternary Faults in the Vicinity of



Managua, Nicaragua.

- **Cluff, L and Carver, G. 1973.** Geological observations: in Managua, Nicaragua, earthquake of December 23, 1972, Earthquake Engineering Research Institute Reconnaissance report.
- **Del Guidice, D., 1960.** Apuntes sobre la geología del departamento de Nueva Segovia. Servicio geológico Nacional. Boletín N° 3.
- **Dengo, G. 1969.** Problems of tectonic relation between Central America and the Caribbean Gulf Coast Assoc.
- **Dengo, G. 1985.** Mid-America: Tectonic setting for the pacific margin from México to north western Colombia in the ocean basins and margins, Vol. 7A: The Pacific Ocean p. 123-180.
- **Dengo, G y Case, J. 1990.** The geology of North América. The Caribbean Region. Vol. H. Colorado.
- **Denyer, P et al. (2000).** Historia Geológica, En Denyer, P. (2000). Geología de Costa Rica.
- **Diaz, J et al. 1989.** "Morfoestructuras", en nuevo Atlas Nacional de Cuba. (IV.3.1)
- **Donnelly et al. 1990.** Northern Central América, the Maya and Chortis blocks, in Dengo, G. and Case, J.E. Ed. The Caribbean Region: Boulder, Colorado, Geological Society of América.
- **Duncan, R and Hargraves, R. 1984.** Plate tectonic evolution of the Caribbean region in the mantel reference frame. In Bononi, W.E., Hargraves, R.B. and Shagam, R., editors. The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics. Geological society of America Memoir, 162, 81-84.



- **Elming, S., Widenfalk, L., & Rodríguez, D. 1998.** Investigación científica en Nicaragua. Proyecto conjunto Suecia-Nicaragua. Lulea.
- **Engels, B. 1964.** Resumen del estudio geológico sobre tectónica interna de la región esquistosa de nueva Segovia. Servicio Geológico Nacional, Bol.8.
- **Espinoza, F. 2007.** Neotectónica de la Falla Nejapa, porción Oeste del Graben de Managua Nicaragua. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 2007.
- **Frischbutter, A. 2002.** Structure of the Managua Graben, Nicaragua, from remote sensing images. Geofísica Internacional, Vol. 4, N° 002, p. 87-102.
- **Freundt A, Kutterolf S, Wehrmann H, Schmincke H, Strauch W. 2005.** Eruption of the dacite to andesite zoned Mateare Tefra, and associated tsunamis in lake Managua, Nicaragua.
- **Gamond, J.F. (1987).** Bridge Structures as Sense of Displacement Criteria on Brittle Faults. Journal Structure Geology.
- **Gamond, J.F. (1987).** Bridge Structures as Sense of Displacement Criteria on Brittle Faults. Journal Structure Geology.
- **Garduño Monrroy, V. H. 2001.** Efectos de las fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 18 (1):37-54
- **García Palomo, A. 2002.** Vulcanismo y Geología Estructural de la Región de Apan, Estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y México. Tesis de Doctorado Ciencias Vulcanología. Universidad Autónoma de México, México, DF.



- **Girard, G and Van Wyk de Vries. 2005.** The Managua Graben and Las Sierras-Masaya volcanic complex (Nicaragua); pull-apart localization by an intrusive complex: results from analogue modeling.
- **González de Vallejo, L. 2002.** Ingeniería Geológica.
- **Guerasimov, I. P. 1986.** “Problemii globalnoi geomorfologii- covremennaia geomorfologuia i teoriiia mobilisma b geologicheskai istorii Zemlii-“, *Izdatelstba Nauka*, Moscú (en ruso).
- **Havliček, P. et al. 1997.** Estudio para el Reconocimiento de la Amenaza Geológica en el área de Managua, Nicaragua.
- **Hodgson, G. V. 2000.** Geología Regional: Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua.
- **Hodgson, G. 2002.** Geología Histórica Regional e Historia Geológica Estructural Tectónica Simplificada de Nicaragua y América Central.
- **Hernández, J. et al. 1995.** Clasificación morfoestructural (tipológica) y morfotectónica (regional) del relieve oriental cubano: modelo insular de transición interplacas
- **Hernández, J. et al. 2008.** Análisis morfoestructural del estado de Oaxaca, México: un enfoque de clasificación tipológica del relieve. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Número.68.
- **Hernández, J. et al. 2005.** Análisis morfoestructural de las cuencas hidrográficas de los ríos Sabana y Papagayo (tercio medio-inferior), estado de Guerrero, México. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Numero.56.
- **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). Junio 2000.** Estudio de Microzonificación Sísmica de Managua.



- **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). 1996.** Estudio de Amenaza Sísmica para el Centro de la Ciudad de Managua, Nicaragua.
- **Instituto Nicaragüense de estudios territoriales (INETER). 2004.** Mapa Geológico de Nicaragua. Escala 1: 75,000.
- **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). 2002.** Mapa de fallas geológicas de Managua. Escala 1:20,000
- **Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). 2006.** Hojas topográficas de Managua, Masaya, Mateare, Tipitapa, Nindiri y San Rafael del sur. Escala: 1:50,000.
- **Kuang, J. 1971.** Estudio Geológico del Pacífico de Nicaragua. Catastro e Inventario de Recursos Naturales. Informe 10.
- **Kuang, J and R. L. Williams. 1971.** Mapa geológico de Managua, Nicaragua Managua. Sheet 2962 III, 1:50,000.
- **Kutterolf, S., Freundt, A., Perez, W., Wehrmann, H., Schmincke, H.-U.,** Late Pleistocene to Holocene temporal succession and magnitudes of highly-explosive volcanic eruptions in west-central Nicaragua, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (2007), doi: 10.1016/j.volgeores.2007.02.006.
- **La Femina, P. 2002.** Bookshelf faulting in Nicaragua: Geological Society of America.
- **Martínez, W. 2000.** Estudio de Peligro Sísmico en Managua.
- **Martínez, W. 2004.** Tectonic and volcanic geology of The Nejapa alignment in Managua, Nicaragua.
- **Moore, F. 1990.** Análisis de Comportamiento Dinámico de los Suelos durante un sismo en el área de Managua.



- **McBirney, A y Williams, H. 1965.** Volcanic History of Nicaragua. University of California.
- **Parson Corporation. 1972.** The geology of western Nicaragua. Tax Improvement and Natural Resources Inventory Project.
- **Pérez, W., and Freundt, A., 2006.** The youngest highly explosive basaltic eruptions from Masaya Caldera (Nicaragua): Stratigraphy and hazard assessment.
- **Pindell, J. 1985.** Alleghenian reconstruction and subsequent evolution of the Gulf of Mexico, Bahamas and Proto-Caribbean Sea.
- **Rubí, C. 2011.** Tectónica Activa en la Cuenca de Managua: Paleosismicidad de la Falla Cofradía.
- **Sibson, R.H. (1990).** Faulting and fluid flow, in Nesbitt, B.E., ed., Short course on fluids in tectonically active regimes of the continental crust. Mineralogical Association of Canada.
- **Tolson, G. 1996.** Un Catalogo de Indicadores Cinemáticos en Rocas Cizalladas. Depto. de Paleomagnetismo. GEOS, Unión Geofísica Mexicana, 16(1).
- **Van Zuidam, R. 1986.** Aerial Photo interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping.
- **Van Wyk de Vries B. (2002).** The Managua Graben and Las Sierras-Masaya Volcanic complex (Nicaragua); pull-apart localization by an intrusive complex: results from analogue modelling. Journal of Volcanology and Geothermal Research 144. Pág. 37-57.
- **Van der Voo, et al. (1976).** Permian-Triassic continental configurations and the origin of the Gulf of Mexico.
- **Weinberg, R. 1990.** The Neogene structural development of Western Nicaragua. SGAB/UNAN/SAREC report, URAP 90002.



- **Weinberg, R. F. 1992.** Neotectonic Development Of Western Nicaragua. En: Elming, S., Widenfalk, L., & Rodríguez, D., 1998. Investigación científica en Nicaragua. Proyecto conjunto Suecia-Nicaragua. Luleå.
- **Woodward-Clyde Associates, 1975.** Investigation of active faulting in Managua, Nicaragua and vicinity. Final reportto Vice Ministerio de Planificación Urbana, Gobierno de la República de Nicaragua, Woodward–Clyde Associates, Oakland, CA.
- **Zambrana, X. 2009.** Estudio Geológico de Peligro por Fallamiento Superficial en el área del Estadio Nacional de Beisbol “Rigoberto López Pérez” y sus alrededores.
- **Zamorano, J. et al. 1999.** Meseta de Boitano y graben de Santiago de Cuba: un enfoque geomorfológico de su desarrollo morfoestructural. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Numero.41.
- **Zoppis Bracci. 1957.** Estudio geológico de la región de Palacaguina y de su depósito de antimonio. Servicio Geológico Nacional (Nicaragua) Bol.,1.
- **Zoppis, B y Del Guidice. 1958.** Geología del al Costa del Pacífico de Nicaragua. Boletín del Servicio Geológico Nacional (Nicaragua). No.2.